

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) Юлія ЯМНЕНКО  
(ініціали, прізвище)  
“ ” \_\_\_\_\_ 2020р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальністю \_\_\_\_\_  
171 Електроніка  
(код і назва)

освітня програма (спеціалізація) \_\_\_\_\_  
Електронні компоненти і системи

на тему: Система електроживлення з відновлювальними джерелами енергії  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Виконав (-ла): студент (-ка) \_\_\_\_\_  
II курсу, групи \_\_\_\_\_  
ДС-91мп  
(шифр групи)

Білий Максим В'ячеславович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник д.т.н., професор Валерій ЖУЙКОВ \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант 1-5 \_\_\_\_\_  
(назва розділу) к.т.н., доц. Євген ВЕРБИЦЬКИЙ \_\_\_\_\_ (підпис)  
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент к.т.н. доц. каф. АМЕС Олександр ДРОЗДЕНКО \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я ПРІЗВИЩЕ) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант  
по нормоконтролю к.т.н., доц. Лариса БАТРАК \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я ПРІЗВИЩЕ) \_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет Електроніки  
( повна назва )

Кафедра Електронних пристроїв та систем  
( повна назва )

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо - професійною програмою

Спеціальність 171 Електроніка  
(шифр і назва)

Освітня програма (спеціалізація) Електронні компоненти і системи

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)      Юлія ЯМНЕНКО  
( прізвище ініціали )

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Білому Максиму В'ячеславовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система електроживлення з відновлювальними джерелами енергії.

науковий керівник дисертації д.т.н., проф. Валерій ЖУЙКОВ,  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «5» листопада 2020 року № 3241-с

2. Термін подання студентом дисертації 9 грудня 2020 року

3. Об'єкт дослідження Система електроживлення з відновлювальними джерелами енергії

4. Вихідні дані: система електроживлення потужністю 1 кВт з сонячною батареєю, вітрогенератором та акумулятором

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Розробка аналітичного алгоритму розрахунку прибутковості системи з акумулятором та без нього;  
3) Розробка структурної та принципової схеми системи електроживлення з альтернативними джерелами енергії; Моделювання функціональних вузлів системи в середовищі Matlab (Simulink)

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій 1.Білий М. Транспортний засіб з акумулятором зі зменшеними масогабаритними показниками / Білий М., Мартюхін І. // Електронні системи та сигнали, 2019. – Том 2. - №1. – С. 16-20. 2.Вербицький, Є.В., Білий М. В. Особливості проектування системи електроживлення з відновлювальними джерелами енергії в умовах ринку електроенергії. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 28 жовтня 2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд проблеми небалансів електроенергії та способів їх вирішення. Аналіз моделі ринку електроенергії.	15.02.19-03.03.20	
2	Огляд принципу роботи сонячних панелей та вітрогенераторів, їхніх видів та аналіз переваг їх використання	03.03.19-05.04.20	
3	Розробка структурної схеми системи електроживлення з відновлювальними джерелами енергії	05.04.19-09.05.20	
4	Формування аналітичної моделі розрахунку прибутку, визначення амортизаційних витрат та інших факторів	09.05.19-14.06.20	
5	Визначення залежностей вартості потужностей вітрогенераторів та акумуляторів з графічним відображенням	14.06.19-18.07.20	
6	Визначення потужностей сонячної батареї, вітрогенератора та акумулятора	18.07.19-26.08.20	
7	Моделювання системи електроживлення в середовищі Wolfram Mathematica	26.08.19-04.09.20	
8	Моделювання системи електроживлення в середовищі Matlab	04.09.19-09.12.20	

Студент

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(підпис)

Максим БІЛИЙ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Валерій ЖУЙКОВ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

В роботі розглядаються особливості функціонування системи електроживлення з відновлювальними джерелами енергії в умовах прийнятому у 2019 році закону України «Про ринок електричної енергії». Аналізується робота системи з акумулятором та без, оцінюються переваги та недоліки такої роботи. Описуються механізми продажу електроенергії на ринку на добу наперед, внутрішньодобовому ринку та ринку двосторонніх договорів. Наведено структурну схему і схему принципову силову та запропоновано алгоритм розрахунку прибутку такої системи. Враховуються амортизаційні нарахування та втрати енергії кожного вузла системи. Розроблена умова доцільності запасання енергії в акумулятор та алгоритм вибору параметрів системи. Показано як залежить прибуток від використання акумуляування енергії. Показано залежність використання різних комбінацій джерел енергії від вартості окупності системи. Знайдена залежність між погодними умовами, вартістю електроенергії та вартістю компонентів системи. Промодельовано розроблений алгоритм отримання прибутку та створено схеми функціональних вузлів принципової схеми в середовищі Matlab. Доведено, що в системі електроживлення доцільно використовувати один найдешевший тип відновлювального джерела енергії. Тоді як для здешевлення системи електроживлення з акумуляуванням енергії доречніше використовувати декілька джерел енергії, потужність яких слабо корелюється. У цьому випадку система акумуляування має меншу енергоємність і меншу вартість. Але балансування енергосистеми доцільно, коли прибуток системи з акумуляуванням енергії перевищує прибуток системи без нього, що можливе за умови збільшення різниці максимальної і мінімальної ціни електроенергії протягом дня.

**Ключові слова:** система електроживлення з відновлювальними джерелами енергії; прибуток; амортизаційні нарахування.

## SUMMARY

The paper considers the peculiarities of the functioning of the power supply system with renewable energy sources in the conditions of the law of Ukraine "On the electricity market" adopted in 2019. The operation of the system with and without a battery is analyzed, the advantages and disadvantages of such operation are evaluated. The mechanisms of electricity sales on the day-ahead market, the intraday market and the market of bilateral agreements are described. The structural scheme and the principal power scheme are given and the algorithm of calculation of profit of such system is offered. Depreciation and energy losses of each system node are taken into account. The condition of expediency of energy storage in the accumulator and algorithm of a choice of parameters of system is developed. It is shown how the profit depends on the use of energy storage. The dependence of the use of different combinations of energy sources on the payback cost of the system is shown. The dependence between weather conditions, the cost of electricity and the cost of system components was found. The developed algorithm of profit making is modeled and the schemes of functional units of the schematic diagram in the Matlab environment are created. It is proved that it is expedient to use one of the cheapest types of renewable energy source in the power supply system. Whereas to reduce the cost of a power storage system with energy storage, it is more appropriate to use several energy sources whose power is weakly correlated. In this case, the storage system has less energy consumption and lower cost. But balancing the power system is appropriate when the profit of the system with energy storage exceeds the profit of the system without it, which is possible provided that the difference between the maximum and minimum price of electricity during the day.

**Keywords:** power supply system with renewable energy sources; profit; depreciation charges

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....</b>	<b>9</b>
1.1. Ринок електроенергії.....	9
1.1.1. Сфера застосування «зеленого» тарифу .....	9
1.2. Сонячні панелі .....	11
1.2.1. Види сонячних батарей.....	12
1.2.2. Перевага сонячних батарей .....	13
1.3. Вітрогенератори.....	13
1.3.1. Особливості пристрою вітрогенератора .....	14
1.3.2. Конструкція вітряних генераторів енергії .....	15
1.3.3. Модифікації вітряного генераторного обладнання .....	15
1.3.4. Особливості використання вітряного генератора.....	16
1.4. МРРТ перетворювачі.....	16
1.4.1. Загальні відомості про принцип дії МРРТ-контролерів .....	17
1.4.2. Огляд сучасного ринку МРРТ-контролерів .....	20
1.5. Інвертори .....	21
1.5.1. Основна робота інвертора .....	22
1.5.2. Форми вихідних сигналів інвертора .....	22
1.6. Акумулятори для сонячних батарей.....	23
1.6.1. Види акумуляторів для сонячних батарей.....	23
1.6.2. Основні технічні характеристики АКБ.....	26
1.6.3. Як правильно розрахувати і вибрати АКБ.....	26
Висновки до розділу 1 .....	28
<b>2. РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМИ.....</b>	<b>29</b>
2.1. Алгоритм пошуку найбільшого прибутку .....	31
Висновки до розділу 2 .....	40

<b>3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТТРОЖИВЛЕННЯ .....</b>	<b>41</b>
3.1. Розрахунок акумуляторної батареї .....	41
3.2. Розрахунок ємностей.....	43
3.3. Розрахунок індуктивностей.....	44
3.4. Розрахунок транзисторів.....	45
3.5. Принцип розрахунку співвідношення потужностей джерел енергії .....	46
Висновок до розділу 3 .....	50
<b>4. МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТЕЙ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ.....</b>	<b>51</b>
4.1. Обробка масиву даних .....	51
4.2. Моделювання функціональних вузлів .....	55
Висновки до розділу 4 .....	60
<b>5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....</b>	<b>61</b>
5.1. Опис ідеї проекту.....	61
5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	63
5.3. Розробка маркетингової програми стартап-проекту .....	65
Висновки до розділу 5 .....	67
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>69</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>71</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>77</b>

## ВСТУП

**Актуальність.** Завдяки прийнятому у 2019 році закону України «Про ринок електричної енергії» держава позбулася монополії на продаж електричної енергії і доступ до цього ринку отримали незалежні постачальники, які можуть продавати електроенергію на трьох ринках: ринок двосторонніх договорів, ринок на добу наперед та внутрішньодобовий ринок.

Дана ініціатива сприяє вільному ціноутворенню вартості електроенергії і в перспективі повинна одночасно зменшити вартість електроенергії та забезпечити стабільність енергосистеми України. Одним з перспективних напрямків джерел енергії, що може продаватись на ринку є енергія відновлюваних джерел, оскільки її використання внесе позитивні зміни в сторону екології.

На даний момент електроенергія з відновлюваних джерел енергії продається за фіксованим «зеленим тарифом». При цьому власники систем електроживлення з відновлюваною електроенергетикою мають нестабільну генерацію енергії, що розбалансовує об'єднану енергетичну систему України. Тому основною особливістю відновлюваних джерел енергії є їх нестабільна вихідна потужність, яка залежить від зовнішніх умов. На відміну від зеленого тарифу вільне ціноутворення сприятиме балансуванню енергетичної системи, бо на інтервалах дефіциту енергії вона матиме більшу вартість. Тому постачальники енергії з відновлювальних джерел будуть зацікавлені у встановленні акумулюючих потужностей з метою накопичення електроенергії на інтервалах, коли вона є дешевою, і продажу, за умови високої вартості. Однак встановлення акумулюючих потужностей є доцільним, лише якщо співвідношення між вартістю електроенергії у години пік і у інтервали з надлишком енергії перевищують певне значення.



**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація була підготовлена відповідно до науково-дослідного плану кафедри електронних пристроїв та систем Національного Технічного Університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Мета і завдання дослідження.** Розробка системи електроживлення з відновлювальних джерел енергії.

Для досягнення мети розглядалися такі задачі, як:

- вивчення актуальності використання альтернативних джерел енергії в умовах сучасного ринку електроенергії;
- розробка алгоритму аналітичного розрахунку прибутковості системи з акумулятором та без нього;
- розробка структурної схеми системи електроживлення з альтернативними джерелами енергії;
- розробка принципової силової схеми відповідно до схеми структурної;
- моделювання алгоритму прибутковості системи в середовищі Matlab, побудова графіків результатів роботи;
- моделювання функціональних вузлів системи в середовищі Matlab (Simulink) та аналіз отриманих осцилограм;

*Об'єкт дослідження* — є система електроживлення з відновлювальними джерелами енергії.

*Предмет дослідження* — алгоритм керування системою електроживлення з відновлювальними джерелами енергії.

**Методи дослідження:** теоретичні положення дисертації побудовані на вивченні економічних закономірностей розвитку України в сфері альтернативної енергетики. Розроблявся аналітичний алгоритм розрахунку прибутку та його дослідження шляхом моделювання в програмному середовищі. Розроблення схем, структурної та принципової та

відображення їх в графічних редакторах. Перевірка схеми шляхом моделювання функціональних вузлів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у обґрунтуванні використання системи акумулювання енергії двох або більше джерел відновлювальної енергії з низьким коефіцієнтом взаємної кореляції для зменшення собівартості системи та запропоновано методику розрахунку співвідношення потужностей відновлювальних джерел енергії для максимізації прибутку, що дозволяє максимізувати прибуток від системи для заданих кліматичних умов.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- Розроблено алгоритм максимізації прибутку від системи електроживлення з відновлювальними джерелами енергії.
- Проаналізовано умови і дано рекомендації щодо покращення балансування енергосистеми України.

Таку систему можуть використовувати середні та малі приватні підприємці, щоб максимізувати свій прибуток. Цим самим вони зроблять позитивний вплив на баланс об'єднаної енергосистеми України.

Результати досліджень використовуються при проведенні лекційних та практичних занять з дисципліни «Мережі постійного і змінного струму з альтернативними джерелами енергії», Лекція «Особливості функціонування ринку електроенергії України» при підготовці фахівців за спеціальністю 171 «Електроніка» в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

**Апробація результатів дисертації.** За темою дисертації було виконано виступ на конференції «Електроніка-2020».

**Публікації.** Білий М. Транспортний засіб з акумулятором зі зменшеними масогабаритними показниками / Білий М., Мартюхін І. // Електронні системи та сигнали, 2019. – Том 2. - №1. – С. 16-20., Вербицький, Є.В., Білий М. В. Особливості проектування системи

електроживлення з відновлювальними джерелами енергії в умовах ринку електроенергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури із 38 найменувань. Загальний обсяг становить 87 сторінок, у тому числі 72 сторінок основного тексту, 19 рисунків та 17 таблиць.

# **1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ**

## **1.1. Ринок електроенергії**

### **1.1.1. Сфера застосування «зеленого» тарифу**

«Зелений» тариф, відповідно до Закону про електроенергію — це спеціальний тариф, за яким держава зобов'язується закуповувати електроенергію, вироблену окремими виробниками на приватних об'єктах, які використовують джерела альтернативної енергії. Термінологія альтернативних джерел енергії описана в Законі України «Про альтернативні джерела енергії».

У квітні 2017 р. було прийнято закон «Про ринок електричної енергії», завдяки якому з 01.07.2019 р. запроваджено нову модель ринку. Такою моделлю відбувається усунення єдиного покупця та продавця на ринку електроенергії, відповідно до нових правил, продаж електричної енергії повинен відбуватися на підставі укладених двосторонніх договорів між виробниками електроенергії та постачальниками (споживачами). Нова модель ринку електроенергії включатиме декілька видів продаже енергії: ринок на добу наперед, ринок двосторонніх договорів, внутрішньодобовий ринок та ринок небалансів. [20].

В новій моделі ринку, відбувається розподіл на компанії що виробляють, транспортують та споживають електроенергію. На думку аналітиків, це відповідає європейським стандартам і створює умови для конкуренції.

Введення нової конкуренції на ринок електроенергії має покращити потік коштів від споживача до виробника, а це означає, що виробник зможе планувати та збільшувати наступні свої грошові потоки на основі довгострокових договорів, які укладатимуться без посередників. Так як

споживання електроенергії постійно зростає, то в цій сфері економіки знадобляться великі інвестиції.

Концепція нової ринкової моделі полягає в тому, що споживачі купуватимуть спочатку електроенергію за меншою ціною, а вже потім за найдорожчою, тому виробники конкуруватимуть між собою на ринку. Відповідно, нова модель ринку передбачає його роботу на конкурентній основі, а окремі її сектори підлягатимуть регулюванню державою.

Торгівля електроенергією поза біржою на підставі двосторонніх угод передбачає закупівлю електроенергії на довгострокові контракти, що укладаються між виробниками і споживачами електроенергії безпосередньо.

Впровадження таких інструментів, як ринок на добу наперед і внутрішньодобовий ринок, забезпечує доступ до ринків для тих, хто не укладає довгострокові угоди і має ключову роль в процесі утворення актуальних цін. Внутрішньодобовий ринок зроблений таким чином, щоб забезпечити деяку страхову «подушку» для кореляції небалансів. Вважається, що в учасників цього ринку відбуваються більш захищені торги, бо вони можуть розраховувати на те, що інший учасник ринку, з яким укладалася угода, виконає свої фінансові зобов'язання.

Наступні види, такі як балансуєчий ринок та ринок додаткових послуг використовуються з метою забезпечення достатніх обсягів електроенергії для балансування виробленої енергії, яку продає постачальник, в режимі реального часу.

Тенденція сьогоdnішнього розвитку свідчать про те, що ринок вже починає змінюватися, після впливу чинників попиту і пропозиції. В той же час потрібно пам'ятати, що чималу роль у формуванні сьогоdnенних цін на ринку відіграють кліматичні умови, адже коли настає прохолодна пора року, ціни на електроенергію зростають. Фактично, коли запустили нової моделі ринку, вартість електроенергії почала поступово знижуватися як в ОЕС України, так і на Бурштинському енергоострові.

Для порівняння, весною 2019 р. ціна одного кіловату електроенергії на Бурштинському енергоострові знизилася на 15% станом на момент впровадження нової моделі ринку електроенергії, а в ОЕС України за той самий період ціна знизилася на 20%. Ці показники задають тенденцію на користь того, що закон «Про ринок електричної енергії» оправдує свої сподівання і ці механізми та інструменти дійсно працюють.

На сьогоднішній день всі імпортери електроенергії користуються ринком на добу наперед, що для них є економічно не вигідним. Тому необхідно звернути увагу на те, що сьогоднішні ціни мають той чи інший ступінь збитковості. Більшість імпортерів уже відмовляються від укладених контрактів на обсяги енергії за домовленістю та зупиняють свій імпорт. За таких обставин на перший план на ринок електроенергії виходять національні виробники електроенергії. Сьогодні кожен споживач для побутових потреб може купити дешеву електроенергію на ринку на добу наперед, починаючи від маленького кіоску і закінчуючи великими промисловими підприємствами.

## **1.2. Сонячні панелі**

Сонячною батареєю є сукупність фотоелектричних елементів, які роблять перетворення сонячного світла в електричну енергію.

На рис. 1.1 можна побачити конструктивні елементи СЕС.

Генерація енергії в сонячній панелі відбувається завдяки напівпровіднику, в якому містяться вільні електрони. Після потрапляння сонячного світла на напівпровідник, відбувається нагрівання і часткове поглинання енергії, а в самому напівпровіднику відбувається звільнення електронів та відповідно – генерація електричного струму [3].



Рис. 1.1 Конструкція сонячної батареї

### 1.2.1. Види сонячних батарей

Сонячні батареї поділяються на три види, і кожна з них виготовляється на базі кремнію:

Монокристалічні. Для їх виготовлення кремній обробляють за однією з найдорожчих технологій, вона характеризується доволі високим ККД (приблизно 18-22%). Найдрібніші елементи монокристалічної панелі виглядають як соти, які об'єднані в одну структуру.

Полікристалічні. Для їх виготовлення, суміш, яка складається переважно з кремнію, обробляють шляхом повільного охолодження сплаву, тобто процесом кристалізації. В порівнянні з монокристалічною – вона вимагає набагато менших витрат енергії і тому її вартість є дещо меншою. І основною відмінністю полікристалічних панелей від монокристалічних – є їх нижча енергоефективність.

Та третій вид, це панелі з аморфного кремнію. Для їх виготовлення використовується кремній, який виготовлений по тонкоплівковій технології. Вони мають дуже низький ККД (близько 6%) але попри низький ККД вони користуються популярністю завдяки високому показнику оптичного поглинання, та гарній продуктивності при низькій яскравості світла.

### **1.2.2. Перевага сонячних батарей**

Головною перевагою використання сонячних панелей вважається невичерпне джерело енергії – сонячне світло. До того ж, Україна знаходиться в більш сприятливій кліматичній зоні, з приводу високої ефективності використання сонячних батарей, у порівнянні з Францією та Німеччиною.

Використання альтернативних джерел енергії щороку зростає. Найпопулярнішим та найефективнішим є використання енергії Сонця. Сонячна енергія, яка потрапляє на поверхню Землі, має колосальну потужність, яку повністю неможливо зібрати та використати. Кількість сонячного випромінювання протягом тижня за потужністю перевищує всі нині відомі запаси нафти, урану і вугілля разом узятих [2].

### **1.3. Вітрогенератори**

Ще в давні роки людство вело пошуки альтернативних способів отримання енергії, використовуючи різноманітно можливі комбінації природних ресурсів. І одним результатом такого дослідження став вітрогенератор, який спроможний виробляти електроенергію, використовуючи вітрову енергію. Принцип, за яким працює вітрогенератор заснований на тому, що відбувається перехід сили вітряного потоку в інші види енергії, зокрема в механічну, а потім в електричну. Потужність таких вітроустановок може бути в межах 0,5-4000 кВт. На сьогоднішній день існує обладнання, яке здатне виробляти електроенергію при істотно малій швидкості вітру, а саме від 4 м/с [2]. Такий результат вдалося досягти саме завдяки доволі простій конструкції вітряка, який можливо виготовити самому. Такий вид альтернативної енергії, при встановленні обладнання на приватних ділянках, дає можливість не тільки заощаджувати на оплаті за електроенергію, але і здійснювати її продаж державі на підставі дії



«зеленого» тарифу. Адже такий спосіб його використання підійде для будь-яких ділянок, які від'єднані від централізованого електропостачання, знаходяться в найвіддаленіших куточках країни та виконувати роль додаткового джерела енергії.

### **1.3.1. Особливості пристрою вітрогенератора**

Вітрогенераторне обладнання складається з лопатів, які внаслідок дії сили вітру починають обертатися, що в свою чергу приводить в рух турбіну, яка при обертанні починає генерувати енергію, потужність якої визначається швидкістю вітра і чим вона більша, тим більше енергії буде вироблятися. Вітрогенератор в розрізі проілюстровано на рис. 1.2.



Рис. 1.2 Вітрогенератор в розрізі

Конструкція деяких вітрогенераторів може дещо відрізнятися наявністю мультиплікатора, який призначений для того, щоб пришвидшити обертання турбіни. Тому він виступає як проміжний елемент в передачі енергії вітру, тому в такому випадку можливі додаткові втрати енергії. Логічним буде висновок, що вітрогенератори без мультиплікаторів будуть ефективнішими. Завдяки вітрогенераторам з'явилась можливість отримання електроенергії екологічним та альтернативним методом, завдяки якому є

можливість утворення автономних об'єктів. Зазвичай потужність визначається розміром та формою лопатей.

Потужність вітрогенератора має кубічну залежність від швидкості вітру. Тому при збільшенні швидкості вітру у два рази, генерована потужність зростає у 8 разів.

Для отримання великої потужності від вітрогенератора з турбіною невеликого розміру, необхідна велика швидкість вітру. А при великому діаметрі турбіни необхідна потужність може досягтися за незначної швидкості вітру. Також по конструкції вітряка можливо точно визначити його можливість виробляти певну кількість електроенергії за одиницю часу.

### **1.3.2. Конструкція вітряних генераторів енергії**

Конструкція вітрогенератора має наступні частини: сам вітряк, що перетворює енергію вітрового потоку в електричну енергію; акумулятор; контролер, який контролює та розподіляє згенеровані запаси електроенергії між акумулятором та навантаженням; інвертор. Вітряк складається з ротора (турбіни), який за допомогою обертання здійснює перетворення вітрової енергії в механічну, генератор, що перетворює механічну енергію в електричну, щоглу, систему керування ротором та хвіст або систему азимутальні корекції напрямку. Зазвичай класифікація вітрогенеруючих установок проводиться за потужністю, це 1-10 кВт – побутові та від 500 кВт – промислові.

### **1.3.3. Модифікації вітряного генераторного обладнання**

У моделях вітронеренаторів з горизонтальною віссю обертання є деякі відмінності в системах керування роторами. З використанням азимутального методу, фіксація напрямку вітру відбувається за допомогою електронних давачів і залежно від цих даних відбувається корекція напрямку повороту ротора, відносно напрямку вітру, якщо його швидкість є

достатньою для роботи вітрогенератора. Якщо система управління аеромеханічна, на лопатях генераторів є спеціальні рухомі елементи, завдяки такому конструктивному рішенню можна змінювати розташування площини, на якій знаходяться лопаті, в залежності від напрямку вітру. Таким чином досягається найбільш ефективне функціонування обладнання. Вітрогенератори з вертикальним розташуванням осі обертання – це малоефективні установки, тому їх використовувати не рекомендується. Вони не можуть самостійно починати обертання і їх потрібно розкручувати, а якщо цього не зробити, то генерування енергії стане можливим лише при досяганні швидкості вітру в 10 м/с. Саме тому горизонтальні вітрові установки мають найрозповсюдженіше використання. Це можна пояснити тим, що такі установки можуть досягти коефіцієнта використання вітрового потоку 30%. А при вертикальній осі обертання цей коефіцієнт досягає, в кращому випадку 20%. , тому можна сказати, що вітрова енергія використовуватиметься не ефективно.

#### **1.3.4. Особливості використання вітряного генератора**

При встановленні обладнання діє такий фактор, що приблизно кожні 10 метрів підйому вітрової установка швидкість вітру збільшується в середньому на 1 м/с. Тому безпосередньо від висоти щогли та від діаметра ротора залежить ефективність генерації енергії [9].

Обертання ротора у вітрогенераторах починається від швидкості вітру 1.5 м/с, а генерація енергії починається вже від 3 м/с, тому для вітрогенераторів в Україні швидкість вітру в 7-9 м/с є номінальною.

#### **1.4. МРРТ перетворювачі**

MPPT контролер - це пристрій, який підвищує ефективність сонячної батареї за рахунок функції стеження за Точкою Максимальної Потужності (ТМП).

MPPT - це один із способів отримання енергії з різних альтернативних джерел енергії, будь то сонячна батарея або вітрогенератор. По відношенню до сонячної батареї, його основна особливість - підвищення ефективності роботи альтернативного джерела, шляхом «витягування» максимальної кількості енергії за рахунок пошуку необхідного значення напруги і струму.

Вибір цих параметрів зводиться до аналізу вольт-амперної характеристики джерела і визначення при якій напрузі і струмі буде відбиратися максимальна потужність. Саме так і розшифровується абревіатура MPPT - Maximum Power Point Tracking (стеження за точкою максимальної потужності).

#### **1.4.1. Загальні відомості про принцип дії MPPT-контролерів**

З одного боку якщо керуватись твердженням, що при максимальній напрузі буде найбільший струм, то це здається логічним, але в дійсності це не так. В першу чергу це пов'язано з вольт-амперною характеристикою елементів сонячної батареї.

У робочому режимі сонячний елемент (горизонтальна ділянка ВАХ) - це джерело струму, тобто його вихідний струм слабо залежить від напруги на його контактах. Вихідна напруга ( $U_{вихсб}$ ) залежить від опору підключеного навантаження. Це ми можемо побачити на рис. 1.3 [27].

У правій частині, де напруга максимальна, можна побачити напругу холостого ходу  $U_{хх}$ , яка обмежена кількістю елементів в батареї і їх внутрішньою будовою. Струм при цьому прагне до 0. І навпаки, в лівій частині, де напруга прагне до 0 - це напруга короткого замикання  $U_{кз}$ , а струм обмежений потужністю елементів.

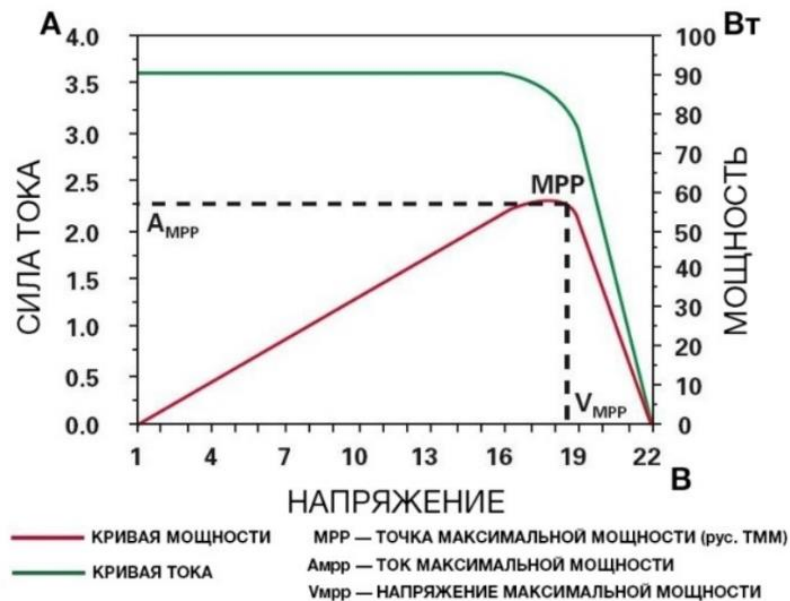


Рис. 1.3 ВАХ сонячної батареї

Якщо прийняти силу струму сонячної батареї, на робочій ділянці, за незмінну величину, то напруга буде визначатися опором навантаження, якщо опір навантаження дорівнює нескінченності, то ми отримаємо режим холостого ходу (при  $R_n = \infty \Rightarrow U_{вихсб} = U_{р.хх}$ ), відповідно при короткому замиканні опір навантаження буде прагнути до нуля, як і вихідна напруга (при  $R_n = 0 \Rightarrow U_{вихсб} = U_{кз}$ ). Максимальна ж потужність настане при певному співвідношенні опору навантаження, напруги і струму.

Контролер - це проміжна ланка між сонячною батареєю і акумулятором, він регулює струм заряду за допомогою ШІМ, або будь-якого іншого методу. Але просто подати безпосередньо напругу з батареї - це не означає забезпечити максимальну передачу потужності від панелей до АКБ.

Для ефективного заряду контролер стежить за струмом, одержуваних від батареї і її вихідним напругою, а також струмом, що віддається АКБ і напругою на ній. Переконатися в цьому можна обравши 2 довільних точки на ВАХ і порівняти потужність, з позначеної на рис. 1.3 точкою максимальної потужності (ТМП), в якій струм не є максимальним.

В одному з варіантів реалізації MPPT-контролер сканує ВАХ сонячних елементів визначаючи оптимальні параметри для поточних робочих умов, наприклад, змінюючи вхідний струм, відповідно змінюється його вхідний опір. За допомогою датчиків струму і напруги система управління обчислює значення потужності і порівнює його з попереднім, до тих пір, поки вона не досягне максимального значення. Це називається «методом обурення і спостереження».

Залежно від конкретного методу визначення ТМП і внутрішнього устрою контролера, в тому числі логіки його роботи, пошук ТМП відбувається з певною періодичністю. Однак на практиці більшість методів є схожими і засновані на принципі «відхилитися і спостерігати». Зміщення точки максимальної потужності проілюстроване на рис. 1.4. У деяких моделях є можливість налаштування цього періоду в діапазоні від 1 разу на кілька хвилин, до 1 разу на кілька годин. Залежно від періодичності пошуку визначається ефективність роботи системи в цілому.

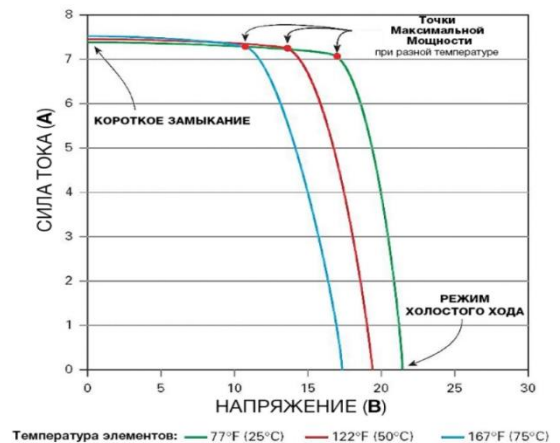
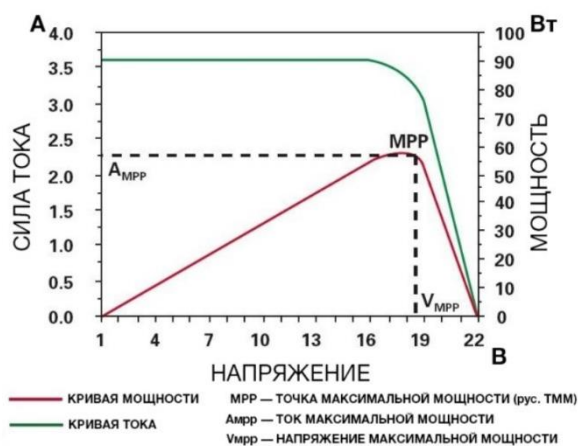


Рис.1.4 а) точка максимальної потужності; б) ТМП при різній температурі

Оскільки в результаті зміни вхідних параметрів можна отримати максимальну потужність, то потім цю енергію потрібно віддати в

навантаження, тобто використовувати для заряду АКБ. Тому в результаті все зводиться до керування силовими перетворювачами.

Однак, не варто вважати MPPT-технологію панацеєю для альтернативної енергетики. Різниця в ефективності заряду АКБ за допомогою MPPT і PWM-контролера тим менше, чим більше заряджений акумулятор.

#### 1.4.2. Огляд сучасного ринку MPPT-контролерів

У табл.1.1, не наводився повний перелік функцій і захистів, так як він займає великий обсяг. Для відомості типовий набір функцій виглядає приблизно так:

- від неправильної полярності підключення СП і АКБ;
- від КЗ на вході сонячної панелі;
- від КЗ в навантаженні;
- від перегріву;
- відключення сонячної панелі після досягнення закінчення заряду АКБ;
- відключення навантаження при занадто низькій напрузі на АКБ;
- від обриву в колі АКБ;
- запобігання розряду АКБ через сонячну панель в нічний час;
- контроль споживання струму навантаженням.

Табл. 1.1 відображає залежність вартості MPPT-контролера від його максимальної сили струму (потужності), але і від діапазону вихідних напруг, кількості підтримуваних акумуляторів, можливості підключення засобів відображення інформації, індикації та моніторингу, і ряду інших чинників.

Таблица 1.1

Контролер Параметри	SRINE SR- ML2420	EPSolar Tracer MPPT 2210/2215	KES DOMINATOR MPPT 250 60	KES MPPT 100 20
Макс. струм, А	20	20	60	20
Макс Uвх (від СБ)	100	100/150	225	100

Напруга АКБ	12/24	12/24	12/24/36/48/96	12/24
Індикація	LCD-дисплей	Світлодіоди/виносна панель керування та індикація	LED + LCD-дисплей + можливість підключення до ПК на базі Raspberry Pi	LED
Вартість, грн (по стану на 2019р.)	2500	5000	25000	1800

## 1.5. Інвертори

Інвертор – це пристрій, що перетворює постійну напругу в змінну. У більшості випадків вхідна напруга постійного струму нижча, тоді як вихідна напруга змінного струму дорівнює напрузі живлення мережі 120 вольт або 220 вольт залежно від країни.

Інвертор може бути зпроектований, як окреме обладнання для таких цілей, як сонячні батареї, або для роботи в якості резервного джерела живлення від акумуляторів, які заряджаються окремо.

Інший варіант - це частина великої схеми, наприклад, блоку живлення або безперебійного блоку живлення (ББЖ). У цьому випадку вхідний постійний струм інвертора надходить від випрямленої мережі змінного струму в блок живлення, від випрямленого змінного струму в ББЖ, а також від акумуляторів, коли виникає збій живлення.

Існують різні типи інверторів, засновані на формі сигналу, який може змінюватись. Вони мають різні схемотехнічні рішення, ефективність, переваги та недоліки

Інвертор забезпечує змінну напругу від джерел постійного струму і корисний для живлення електроніки та електрообладнання, розрахованого на змінну напругу мережі. Схеми класифікуються відповідно до технології комутації та виду перемикавання, форми сигналу, частоти та вихідної форми сигналу.



### **1.5.1. Основна робота інвертора**

Перетворення постійного струму в змінну напругу досягається шляхом перетворення енергії, що зберігається в джерелі постійного струму, такому як акумулятор, або з виходу випрямляча, в змінну напругу. Це робиться за допомогою комутаційних пристроїв, які постійно вмикаються і вимикаються, а потім посилюються за допомогою трансформатора. Хоча існують деякі конфігурації, в яких не використовується трансформатор, але вони не здобули масового використання.

Вхідна напруга постійного струму включається і вимикається силовими пристроями, такими як MOSFET або силовими транзисторами, та імпульсами, що подаються на первинну обмотку трансформатора. Змінна напруга в первинній обмотці індукуює змінну напругу на вторинній обмотці. Трансформатор також працює як підсилювач, де він збільшує вихідну напругу при співвідношенні, що визначається коефіцієнтом повороту. У більшості випадків вихідна напруга підвищується зі стандартних 12 вольт, що подаються від акумуляторів, до 120 або 220 вольт змінного струму.

### **1.5.2. Форми вихідних сигналів інвертора**

Інвертори класифікуються відповідно до вихідних сигналів, причому три загальні типи - це квадратна хвиля, чиста синусоїда та модифікована синусоїда.

Квадратна хвиля проста і дешевша у виготовленні, однак вона має низьку якість енергії в порівнянні з двома іншими. Модифікована квадратна хвиля забезпечує кращу якість енергії (THD  $\sim$  45%) і підходить для більшості електронного обладнання. Вони мають прямокутні імпульси, які мають мертві точки між позитивним півріччям та негативним півциклом (THD близько 24%).

Справжній синусоїдальний інвертор має найкращу форму сигналу з найнижчим коефіцієнтом коефіцієнта затримки близько 3%. Однак він є

найдорожчим і застосовується в таких додатках, як медичне обладнання, стереосистеми, лазерні принтери та інші програми, що вимагають синусоїдальних сигналів. Вони також використовуються в мережевих інверторах та підключеному до мережі обладнанні.

## **1.6. Акумулятори для сонячних батарей**

У системах автономного сонячного електропостачання можуть використовуватися різні види акумуляторних батарей. Їх вибір залежить від вартості інженерного рішення, наявності та функціоналу контролера заряду, умов експлуатації, призначення і інших чинників.

### **1.6.1. Види акумуляторів для сонячних батарей**

Всі АКБ, представлені на ринку, можна розділити на 3 типи:

- свинцево-кислотні;
- лужні;
- літій-іонні.

#### **Свинцево-кислотні АКБ**

По конструкції діляться на обслуговувані (заливні) і не обслуговуються (герметизовані). Другі в міжнародній класифікації позначаються аббревіатурою SLA і містять сірчано-кислий електроліт пов'язаним в скловолокна (AGM) або у вигляді гелю. У порівнянні з заливними мають більш високі експлуатаційні характеристики і краще пристосовані для використання в сонячній електроенергетиці.

Незалежно від застосовуваних технологій все свинцево-кислотні акумулятори в цілому погано переносять глибокий розряд, але здатні постійно підзаряджатися малими струмами.

**Стартерні** (автомобільні) обслуговуються акумулятори - розраховані на видачу високого струму протягом короткого проміжку часу, мають високий відсоток саморазряда, вимагають обслуговування і вентильованого приміщення, гірше всіх АКБ переносять глибокий розряд, який різко скорочує термін служби. Використовуються в самих низькобюджетних системах (бо будь-які АКБ доведеться міняти кожен сезон) за умови постійного контролю за рівнем і щільністю електроліту. Найдешевші.

**AGM** - герметизовані батареї, які в загальному випадку призначені для використання в джерелах безперебійного живлення, прекрасно працюють в буферному режимі по 10-15 років, але не призначені для підтримки постійного навантаження. У системах сонячного електропостачання доцільно застосовувати тільки в модифікації VRLA - батарей глибокого розряду з товстими пластинами і регулюючим клапаном для скидання тиску газу. Щодо недорогі.

**Гелеві** - герметизовані АКБ, які довше попередніх витримують циклічні режими заряду-розряду, здатні переносити сильні морози і можуть бути встановлені навіть на боці. Як і AGM, виробляються в двох модифікаціях: загального призначення і для глибокого розряду (DC). DC за рахунок більш товстих електродних пластин здатні багаторазово відновлюватися і найчастіше використовуються в сонячній енергетиці. Коштують дорожче AGM, але не критично.

**Гелеві з трубчастими електродами (OPzV)** - герметизовані батареї, спеціально розроблені для тривалого відбору великої місткості і здатні функціонувати в такому режимі до 20 годин. У сонячній енергетиці доцільні тільки в системах з великою потужністю. Виробляються в ЄС і США, коштують дорого, але є хороші китайські і українські бренди вдвічі дешевше.

**Заливні з намазними пластинами (OPzS)** - обслуговуються АКБ, які «прийшли» в сонячну енергетику з сегмента тягових акумуляторів для

електричних машин. Позиціонуються як спеціально розроблені для сонячних електростанцій, здатні переносити без пошкоджень багато циклів заряду-розряду до 60% номінальної ємності, але вимагають установки в приміщенні з дотриманням норм пожежної безпеки і примусової вентиляції. Коштують дорого і поставляються за попереднім замовленням, тому використовуються набагато рідше, ніж гелеві.

### **Лужні АКБ**

На відміну від кислотних, лужні акумулятори відмінно справляються з глибоким розрядом і здатні тривалий час віддавати струми приблизно на 1/10 ємності батареї. Більш того, лужні батареї настійно рекомендується розряджати повністю, щоб не виникало так званий «ефект пам'яті», який знижує ємність АБ на величину «невибраного» заряду.

У порівнянні з кислотними, лужні батареї мають значний - 20 років і більше - термін служби, видають стабільну напругу в процесі розряду, також бувають обслуговуються (заливними) і необслуговуваних (герметизованими) і, здається, просто створені для сонячної енергетики. Насправді немає, тому що не здатні заряджатися слабкими струмами, які генерують сонячні панелі. Слабкий струм вільно тече через лужний акумулятор, що не наповнює батарею. Тому на жаль, але доля лужних батарей в автономних енергосистемах - служити «банкою» для дизель-генераторів, де цей тип накопичувачів просто незамінний.

### **Літій-іонні АКБ**

Батареї такого типу мають принципово іншу «хімію», ніж акумулятори для планшетів і ноутбуків, і використовують літій-залізно-фосфатну реакцію ( $\text{LiFePO}_4$ ). Вони дуже швидко заряджаються, можуть віддавати до 80% заряду, не втрачають ємності через неповну зарядки або довгого зберігання в розрядженому стані. Батареї витримують 3000 циклів, мають термін служби до 20 років, виробляються в тому числі в Росії.

Найдорожчі з усіх, але в порівнянні з, наприклад, кислотними, мають удвічі більшу ємність на одиницю ваги, тобто їх знадобиться вдвічі менше.

### **1.6.2. Основні технічні характеристики АКБ**

Характеристики та вимоги до акумуляторів визначаються виходячи з особливостей роботи самої сонячної електростанції.

Акумуляторні батареї повинні:

- бути розраховані на велику кількість циклів заряду-розряду без істотної втрати ємності;
- мати низький саморозряд;
- зберігати працездатність при низьких і високих температурах.
- Ключовими характеристиками прийнято вважати:
- ємність батареї;
- швидкість повного заряду і допустимого розряду;
- умови і термін експлуатації;
- вагогабаритні показники.

### **1.6.3. Як правильно розрахувати і вибрати АКБ**

Розрахунки будуються на простих формулах і допуски на втрати, які виникають в автономній системі енергопостачання.

Мінімальний запас енергії в акумуляторах повинен забезпечувати навантаження в темний час доби. Якщо від заходу до світанку загальне енергоспоживання становить 3 кВт / год, то і банк акумуляторів повинен мати такий запас.

Оптимальний запас енергії повинен покривати добові потреби об'єкта. Якщо навантаження складає 10 кВт / год, то банк з такою ємністю дозволить без проблем «пересидіти» 1 похмурий день, а в сонячну погоду не буде розряджатися більш ніж на 20-25%, що оптимально для кислотних акумуляторів і не веде до їх деградації.

Тут ми не розглядаємо потужність сонячних батарей і приймаємо за факт, що вони в змозі забезпечити такий заряд акумуляторів. Тобто, будуємо розрахунки на потреби об'єкта в енергії.

Запас енергії в 1 батареї ємністю 100Аг напругою 12 В обчислюється за формулою: ємність х напруга, тобто,  $100 \times 12 = 1200$  ват або 1,2 кВт \* год. Отже, гіпотетичному об'єкту з нічним споживанням 3 кВт / год і добовим в 10 кВт / год потрібен мінімальний банк з 3 акумуляторів і оптимальний з 10. Але це в ідеалі, тому що потрібно врахувати допуски на втрати і особливості обладнання.

Втрати енергії:

50% - допустимий рівень розряду звичайних кислотних батарей, тому якщо банк побудований на них, то акумуляторів повинно бути вдвічі більше, ніж показує простий математичний розрахунок. Батареї, оптимізовані під глибокий розряд, можна «спустошувати» на 70-80%, тобто ємність банку повинна бути вище розрахункової на 20-30%.

80% - середній ККД кислотної батареї, яка в силу особливостей віддає енергії на 20% менше, ніж запасає. ККД тим нижче, чим вище струми заряду і розряду. Наприклад, якщо до акумулятора ємністю 200Аг через інвертор підключити електропраска потужністю 2 кВт, то струм розряду складе близько 250А, а ККД впаде до 40%. Що знову призводить до необхідності дворазового запасу ємності банку, побудованого на кислотних акумуляторах.

80-90% - середній ККД інвертора, який перетворює постійну напругу в змінну 220 В для побутової мережі. З урахуванням втрат енергії навіть в найкращих батареях загальні втрати складуть приблизно 40%, тобто навіть при використанні OPzS і тим більше AGM-акумуляторів запас ємності повинен бути на 40% вище розрахункового.

80% - ефективність роботи ШІМ-контролера заряду, тобто, сонячні батареї фізично не зможуть передати акумуляторів більше 80% енергії,

виробленої в ідеальний сонячний день і при максимальній паспортної потужності. Тому краще використовувати більш дорогі МРРТ- контролери, які забезпечують віддачу сонячних батарей майже до 100%, або збільшувати банк акумуляторів і, відповідно, площа сонячних батарей ще на 20%.

Всі ці фактори потрібно враховувати в розрахунках в залежності від того, які складові елементи використовуються в системі сонячної генерації.

### **Висновки до розділу 1**

1. Установка вітрогенераторів є доволі вимоглива щодо місця його розташування, зазвичай використовуються місця віддалені від місць людської діяльності.

2. Використання альтернативних джерел енергії без mppt перетворювачів є не ефективним, тому їх встановлюють в будь-яких установках відновлювальних джерел енергії.

3. Проведений огляд компонентів системи електроживлення показав, що кожен із них має важливе значення в ефективному використанні згенерованої енергії.

## 2. РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМИ

Існують три механізми продажу електроенергії – двосторонні договори, ринок електроенергії на добу наперед та внутрішньодобовий ринок. Двосторонні договори як правило укладаються між великими постачальниками та споживачами електроенергії на великі обсяги електроенергії, тому участь у ньому при невеликих встановлених потужностях (до 10 кВт) є недоречною. Участь у ринках на добу наперед і внутрішньодобовому ринку є більш перспективною. Основна задача таких ринків – покривати дефіцит електроенергії у ранкові (6-9 год.) та вечірні (18-22 год.) години пік, протягом яких ціна на електроенергію найвища.

При роботі на таких ринках можна притримуватись двох стратегій:

- Використовувати системи електроживлення без накопичувача і згенеровану енергію одразу продавати в мережу.
- Використовувати систему з накопичувачем електроенергії і продавати електроенергію у години пік з максимальною вартістю.

За умови використання обох стратегій прогнозування потужності системи електроживлення дозволяє покращити баланс між запланованою і реально згенерованою енергією, що дозволяє збільшити прибуток та уникнути штрафних санкцій небалансів.

Оскільки потужність системи електроживлення з відновлювальними джерелами енергії залежить від зовнішніх умов, для їх прогнозування є доцільним використовувати доступну інформацію сервісів прогнозу погоди у мережі інтернет. Разом з моделлю системи електроживлення така інформація дозволяє:

- 1) Оцінити собівартість електроенергії для заданої структури системи електроживлення та строк її окупності для даної місцевості.
- 2) Обрати структуру та стратегію керування системою електроживлення для отримання найбільшого прибутку.



Ефективніше укласти угоди на ринку на добу наперед.

Структура типової системи електроживлення показана на рис. 2.1.

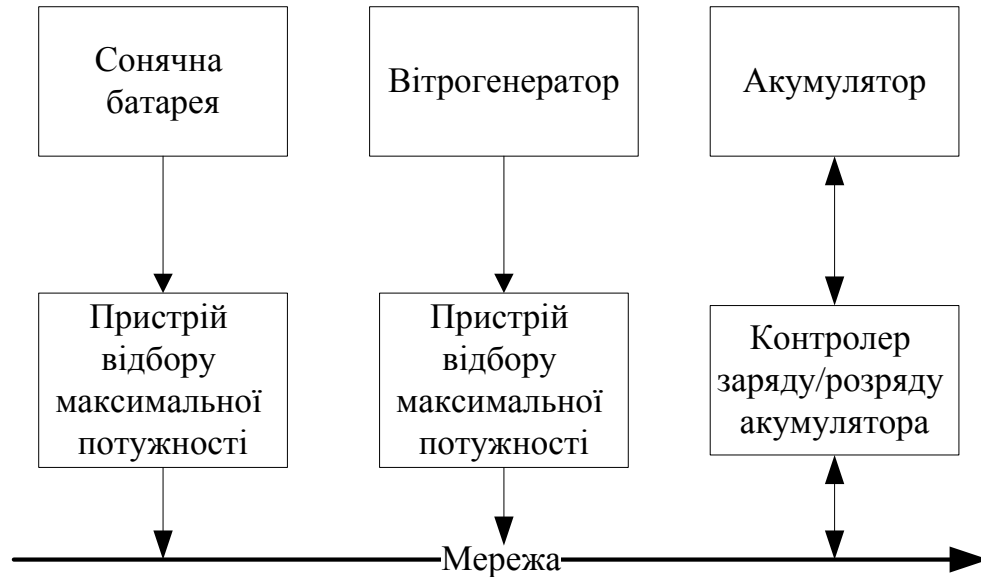


Рис. 2.1. Структурна схема системи електроживлення

На етапі проектування системи, інформація про проведені торги на ринку електроенергії та метеорологічні умови в певній місцевості дозволяє обрати співвідношення між потужністю сонячної батареї, вітрогенератора та енергоемності акумулятора, що дозволить отримати найбільший прибуток для даної місцевості [2].

Для розрахунку прибутку необхідно проаналізувати:

- 1) вартість відновлювальних джерел енергії та акумулятора з врахуванням нелінійного зв'язку між ціною та потужністю джерела;
- 2) раціональне співвідношення між встановленою потужністю акумулятора, сонячної батареї та вітрогенератора;
- 3) статистику щодо вартості електроенергії на ринку.

Розглянуті дані дозволяють знайти залежність між зовнішніми погодними умовами і собівартістю електроенергії, яка генерується в системі. Для цього вводиться поняття зовнішніх погодних умов та амортизації.

## 2.1. Алгоритм пошуку найбільшого прибутку

Можна виділити наступні погодні умови, як:  $F_C(t)$  – сила сонячного випромінювання та  $F_B(t)$  – сила вітру. Вони будуть враховуватись для розрахунку кількості згенерованої електроенергії з урахуванням втрат вітрогенератора та сонячної батареї.

Собівартість визначається як сума початкових витрат та амортизаційних (розподілені рівномірно в часі). Початкові витрати включають в себе витрати на саму сонячну батарею, вітрогенератор та акумулятор і їх установку та підключення. Коли система встановлена, одразу, окрім прибутку вона потребує обслуговування, яке враховується як амортизаційні відрахування. В загальному випадку чистий прибуток від системи електроживлення буде розраховуватись за формулою:

$$\left( \int_0^T (p_{EH}(t) \cdot B_{EH}(t) - A(t, P_{EH})) dt \right) - ПВ = \Pi, \quad (2.1)$$

де,  $P_{EH}$  – встановлена потужність системи,  $p_{EH}$  – миттєва потужність системи у момент часу  $t$ ,  $B_{EH}$  – вартість електроенергії в момент часу  $t$ ,  $A$  – амортизаційні витрати,  $\Pi$  – чистий прибуток за час експлуатації  $T$ ,  $ПВ$  – початкові витрати на придбання обладнання.

Оскільки система може працювати в різних комбінаціях, то загальних обсяг потужності це сума згенерованої енергії вітрогенератора та сонячної батареї.

$$p_{EH}(t) = p^{BG}(t) + p^{CB}(t). \quad (2.2)$$

У свою чергу кожен із цих параметрів залежить від зовнішніх умов  $F_C$  та  $F_B$ . Враховуючи ККД сонячної батареї та вітрогенератора, отримаємо наступні формули:

$$p^{CB}(t) = f(F_C) \cdot \eta^{CB}; \quad (2.3)$$

$$P^{BG}(t) = f(F_B) \cdot \eta^{BG}. \quad (2.4)$$

Амортизаційні витрати залежать від часу і від потужності, оскільки зі збільшенням потужності параметри елементів швидше деградують і вони потребують частішого обслуговування.

Амортизаційні витрати для кожного джерела нараховуються по різному. Тому загальні амортизаційні витрати – це сума амортизаційних витрат сонячної батареї, вітрогенератора та акумулятора.

В загальному випадку формула амортизації визначається наступним чином:

$$A_{EH}(t, P_{EH}) = A^{CB}(t) + A^{BG}(t) + A^{AK}(t). \quad (2.5)$$

При цьому вважається, що параметри сонячної батареї зі збільшенням її миттєвої потужності деградують незначно, тоді як вплив миттєвої потужності на параметри вітрогенератора та акумулятора є суттєвим.

Коли система працює на мережу, без акумулятора, формула (2.1), з врахуванням структури втрат у системі згідно з рис. 2.1, перетворюється до виду:

$$\int_0^T ((p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) B_{EH}(t) \cdot \eta^{IHB} - (A^{CB}(t) + A^{BG}(t))) dt - ПВ = П^{БЕЗ-АК}, \quad (2.6)$$

де,  $\eta^{IHB}$  - ККД інвертора,  $\eta_{MPPT}^{CB}$  - ККД контролера сонячної батареї,  $\eta_{MPPT}^{BG}$  - ККД контролера вітрогенератора,  $\eta^{BG}$  і  $\eta^{CB}$  - ККД вітрогенератора та сонячної батареї відповідно,  $П^{БЕЗ-АК}$  - чистий прибуток без використання акумулятора.

При роботі з акумулятором формула (2.6) зміниться, оскільки виникають додаткові втрати при транспортуванні та зберіганні енергії в акумуляторі:

$$\int (p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) B_{EH}(t) \cdot \eta^{IHB} \cdot \eta^{AK} - (A^{CB}(t) + A^{BG}(t) + A^{AK}(t))) dt - ПВ^{3-АК} = П^{3-АК}, \quad (2.7)$$

де,  $\eta^{AK}$  - ККД акумулятора,  $\Pi^{3-AK}$  - чистий прибуток від експлуатації системи електроживлення з акумулятором,  $\Pi B^{3-AK}$  – початкові витрати на систему з акумулятором.

Недоліком роботи системи з акумулятором є втрата обсягу виробленої електроенергії, але в цьому випадку можна обирати моменти, коли ціна енергії буде найбільшою, щоб зкомпенсувати прибуток від втраченої енергії.

Іноді використання акумулятора є доцільним, а інколи – ні. Доцільність використання акумулятора визначається різницею між середньою вартістю енергії та максимальною. Чим вона більша, тим краще використовувати акумулятор.

Для визначення, доцільності використання акумулятора в даний момент часу, потрібно формулу (2.7) модифікувати з урахуванням різниці між максимальною та середньою вартістю енергії на ринку, тоді вона матиме наступний вигляд:

$$\int ((p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) \cdot B_{EH} (1 + \left( \frac{B_{\max} - B_{cp}}{B_{\max}} \right)) \cdot \eta^{IHB} \cdot \eta^{AK} - (A^{CB}(t) + A^{BG}(t) + A^{AK}(t))) dt - \Pi B^{3-AK} = \Pi^{3-AK}, \quad (2.8)$$

де,  $B_{\max}$  - максимальна вартість енергії,  $B_{cp}$  - середня вартість енергії.

Використання акумулятора буде доцільним при наступній умові, коли прибуток від продажу енергії по піковій вартості з акумулятором буде більшим за прибуток, отриманий при прямій роботі системи на мережу.

$$\Pi^{3-AK} - \Pi^{БЕЗ-AK} > 0. \quad (2.9)$$

Розписавши та зпростивши ці вирази, отримаємо наступне співвідношення:

$$\int_0^T (p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) \cdot \eta^{IHB} B_{EH} \left( \left( 1 + \left( \frac{B_{\max} - B_{cp}}{B_{\max}} \right) \right) \cdot \eta^{AK} - 1 \right) - A^{AK}(t) dt - \Pi B^{AK} > 0, \quad (2.10)$$

де,  $PB^{AK}$  – початкові витрати на придбання акумулятора

Виконання умови (2.10) буде свідчити про доцільність запасання енергії в акумулятор з подальшим її продажем в піковий момент її вартості. Але при цьому слід розуміти, що на практиці ефективність від системи з акумулятором буде нижчою, оскільки умова (2.10) отримана за умови необмеженої розрядної потужності акумулятора, що дозволяє продавати електроенергію лише у обмежені у часі інтервали з найвищою ціною на неї.

Амортизаційні витрати у формулах (2.1)-(2.10) у загальному випадку складаються з трьох компонент:

- початкові витрати  $A_0$ , які характеризують початковий внесок в розмірі біля  $K_0 = 20\%$  від початкової вартості, постійні витрати протягом експлуатації;

- поточні постійні витрати  $A_1$ , що лінійно зростають в часі і загалом не перевищують  $K_1 = 50\%$  від початкових витрат та характеризують обсяг витрат на амортизацію за одиницю часу;

- поточні змінні витрати  $A_2$ , що залежить від потужності і характеризує рівень зношення обладнання і загалом не перевищують  $K_2 = 50\%$  від початкових витрат.

$$A_0 = K_0 PB; \quad (2.11)$$

$$A_1 = K_1 \frac{PB}{T}; \quad (2.12)$$

$$A_2 = K_2 \frac{PB}{T} p^*, \quad (2.13)$$

де,  $p^* = p/P$  – відносна потужність джерела енергії.

Постійна складова є одним із методів нарахування амортизації, вона обумовлена тим, що строк служби вітрогенератора, сонячної батареї та акумулятора не залежать від потужності. Така модель обумовлена тим, що в технічних характеристиках сонячної батареї вказаний лише коефіцієнт деградації сонячної батареї, який залежить від часу і не залежить від потужності, акумулятори зазвичай використовуються герметичні, які не

потребують обслуговування, а у вітрогенераторі використовуються підшипники закритого типу та безколекторний двигун, що мінімізує зношення самого генератора.

Амортизаційні витрати сонячної батареї не залежать від потужності, тому вона має лише першу складову. У вітрогенератора і акумулятора будуть дві складові, які залежать від часу та від потужності.

$$A^{CB} = A_0^{CB} + A_1^{CB} \cdot t; \quad (2.14)$$

$$A^{BG} = A_0^{BG} + A_1^{BG} \cdot t + A_2^{BG} (p_{BG}^*) \cdot t; \quad (2.15)$$

$$A^{AK} = A_0^{AK} + A_1^{AK} \cdot t + A_2^{AK} (p_{AK}^*) \cdot t. \quad (2.16)$$

Окремою задачею є вибір потужностей сонячної батареї, акумулятора та вітрогенератора. Для сонячної батареї є тільки початкова і постійна складова, а для вітрогенератора та акумулятора ще додається змінна складова. Оскільки акумулятор і вітрогенератор мають третю складову, яка залежить від потужності.

Зпростивши формули (2.6) і (2.8), отримаємо формулу прибутку, коли система працює на мережу, без акумулятора:

$$\int_0^T ((p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) B_{EH}(t) \cdot \eta^{IHB} - (A_1^{CB} + A_1^{BG} + A_2^{BG})) dt - A_0^{CB} - A_0^{BG} - ПВ = \Pi^{BE3-AK}. \quad (2.17)$$

Та при роботі з акумулятором:

$$\int ((p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) B_{EH} (1 + \left( \frac{B_{\max} - B_{cp}}{B_{\max}} \right)) \cdot \eta^{IHB} \cdot \eta^{AK} - (A_1^{CB} + A_1^{BG} + A_2^{BG} + A_1^{AK} + A_2^{AK})) dt - A_0^{CB} - A_0^{BG} - A_0^{AK} - ПВ = \Pi^3-AK. \quad (2.18)$$

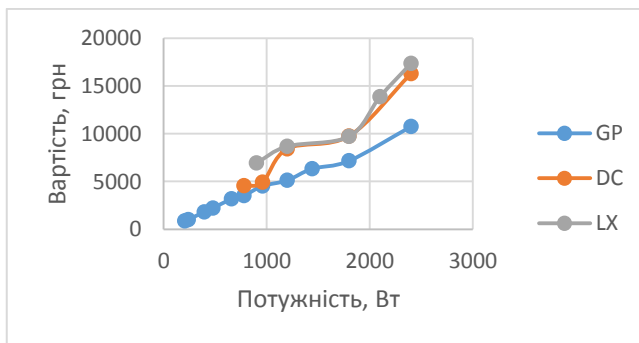
Далі (1.17) та (1.18) для подальшого зрощення, розділимо на дві частини і винесемо  $t$  за дужки. Перша зі змінною часу, а друга – без змінної часу. ((1.19) та (1.20) відповідно).

$$\int_0^T (-A_0^{CB} - A_0^{BG} - (PB^{CB} + PB^{BG}) - (A_1^{CB} + A_1^{BG} + A_2^{BG}(P^{BG}))t + (p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) \cdot B_{EH}(t) \cdot \eta^{IHB} dt = \Pi^{EE3-AK}; \quad (2.19)$$

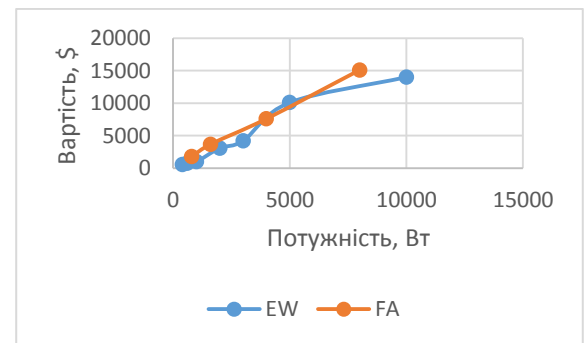
$$\int (-A_0^{CB} - A_0^{AK} - A_0^{BG} - (PB^{CB} + PB^{BG} + PB^{AK}) - (A_1^{CB} + A_1^{BG} + A_2^{BG}(P^{BG}) + A_1^{AK} + A_2^{AK}(W^{AK}))t + (p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) \cdot (1 + \left( \frac{B_{\max} - B_{cp}}{B_{\max}} \right)) \cdot \eta^{IHB} \cdot \eta^{AK}) dt = \Pi^3-AK. \quad (2.20)$$

Проаналізуємо, як залежать амортизаційні нарахування від потужності.

Оскільки для сонячної батареї залежність потужності від вартості є однозначно лінійною, то для вітрогенератора та акумулятора потрібно оцінити залежності їх вартостей та потужностей. Для цього було оцінено вартість лінійок акумуляторів і вітрогенераторів окремих виробників: EW та FA – для вітрогенераторів і Merlion GP, RITAR DC та Luxeon LX – для акумуляторів. Результуючі графіки залежності вартості від потужності акумуляторів та вітрогенераторів можна побачити на рис 2.2 а) та б) відповідно.



а)



б)

Рис. 2.2. Залежність вартості від потужності: а) акумуляторних батарей; б) вітрогенераторів

Наведені залежності вартості від потужності мають лінійний тренд, тому можна вважати, що амортизаційні нарахування будуть приблизно пропорційні до їх потужності, що дозволяє аналізувати систему з нормованими потужностями сонячної батареї і вітрогенератора:  $k_{CB} + k_{BG} = 1$ . Та визначити значення  $p_{CB}^*$  і  $p_{BG}^*$  для яких отримується максимальний прибуток, а потім масштабувати систему на потрібну потужність. У цьому випадку формули (2.19) і (2.20) перетворяться до виду:

$$\begin{aligned} & \int_0^T (-A_{0,(1)}^{CB} \cdot P^{CB} - A_{0,(1)}^{BG} \cdot P^{BG} - (PB_{(1)}^{CB} \cdot P^{CB} + PB_{(1)}^{BG} \cdot P^{BG}) - \\ & - (A_{1,(1)}^{CB} \cdot P^{CB} + A_{1,(1)}^{BG} \cdot P^{BG} + A_{2,(1)}^{BG} (P^{BG}) \cdot P^{BG}) t + \\ & + (p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) B_{EH}(t) \cdot \eta^{IHB} dt = \Pi^{BE3-AK}; \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} & \int (-A_{0,(1)}^{CB} \cdot P^{CB} - A_{0,(1)}^{AK} - A_{0,(1)}^{BG} \cdot P^{CB} - (PB_{(1)}^{CB} \cdot P^{CB} + PB_{(1)}^{BG} \cdot P^{BG} + PB^{AK}) - \\ & - (A_{1,(1)}^{CB} \cdot P^{CB} + A_{1,(1)}^{BG} \cdot P^{BG} + A_{2,(1)}^{BG} (P^{BG}) \cdot P^{BG} + A_1^{AK} + A_2^{AK}) t + \\ & + (p^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t)) \cdot (1 + \left( \frac{B_{\max} - B_{cp}}{B_{\max}} \right)) \cdot \eta^{IHB} \cdot \eta^{AK} dt = \Pi^3 - AK. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Введемо коефіцієнти потужностей, пронормувавши встановлені потужності системи:

$$\begin{aligned} p_{EH} &= p_{\max}^{CB} + p_{\max}^{BG}; \\ k^{CB} &= \frac{P_{\max}^{CB}}{P_{\max}^{CB} + P_{\max}^{BG}}; \\ k^{BG} &= \frac{P_{\max}^{BG}}{P_{\max}^{CB} + P_{\max}^{BG}}; \\ p_{CB}^* &= \frac{p_{\max}^{CB}}{P_{\max}^{CB}}; \\ p_{BG}^* &= \frac{p_{\max}^{BG}}{P_{\max}^{BG}}. \end{aligned} \quad (2.23)$$



Зпростимо вираз, винесши потужність за дужки:

$$\begin{aligned}
 & (P^{CB} + P^{BG}) \int_0^T \left( -A_{0,(1)}^{CB} \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} - A_{0,(1)}^{BG} \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} - \left( \frac{PB_{(1)}(P^{CB} + P^{BG})}{P^{CB} + P^{BG}} \right) \right) - \\
 & - \left( A_{1,(1)}^{CB} \cdot \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} + A_{1,(1)}^{BG} \cdot \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} + A_{2,(1)}^{BG} (P^{BG}) \cdot \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} \right) t + \\
 & + \left( \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t) \right) B_{EH}(t) \cdot \eta^{IHB} dt = \Pi^{BE3-AK};
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

$$\begin{aligned}
 & (P^{CB} + P^{BG}) \cdot \int \left( -A_{0,(1)}^{CB} \cdot \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} - A_{0,(1)}^{BG} \cdot \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} - A_{0,(1)}^{AK} - \right. \\
 & - \left( \frac{PB_{(1)}^{CB} \cdot P^{CB} + PB_{(1)}^{BG} \cdot P^{BG} + PB^{AK}}{P^{CB} + P^{BG}} \right) - \\
 & - (A_{1,(1)}^{CB} \cdot \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} + A_{1,(1)}^{BG} \cdot \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} + A_{2,(1)}^{BG} (P^{BG}) \cdot \\
 & \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} + A_1^{AK} + A_2^{AK} (W^{AK})) t + \\
 & + \left( \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t) \right) \cdot \\
 & \cdot \left( 1 + \left( \frac{B_{\max} - B_{cp}}{B_{\max}} \right) \right) \cdot \eta^{IHB} \cdot \eta^{AK} dt = \Pi^{3-AK}.
 \end{aligned} \tag{2.25}$$

Розпишемо згенеровану потужність сонячної батареї вітрогенератора відповідно до (2.19)

$$\begin{aligned}
 & (P^{CB} + P^{BG}) \int_0^T \left( -A_{0,(1)}^{CB} \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} - A_{0,(1)}^{BG} \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} - \left( \frac{PB_{(1)}(P^{CB} + P^{BG})}{P^{CB} + P^{BG}} \right) \right) - \\
 & - \left( A_{1,(1)}^{CB} \cdot \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} + A_{1,(1)}^{BG} \cdot \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} + A_{2,(1)}^{BG} (P^{BG}) \cdot \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} \right) t + \\
 & + \left( \frac{P_{BG}^* \cdot P_{\max}^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + \frac{P_{CB}^* \cdot P_{\max}^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t) \right) B_{EH}(t) \cdot \eta^{IHB} dt = \Pi^{BE3-AK};
 \end{aligned} \tag{2.26}$$

$$\begin{aligned}
& (P^{CB} + P^{BG}) \cdot \int \left( -A_{0,(1)}^{CB} \cdot \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} - A_{0,(1)}^{BG} \cdot \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} - A_{0,(1)}^{AK} - \right. \\
& \left. - \left( \frac{PB_{(1)}^{CB} \cdot P^{CB} + PB_{(1)}^{BG} \cdot P^{BG} + PB^{AK}}{P^{CB} + P^{BG}} \right) - \right. \\
& \left. - A_{1,(1)}^{CB} \frac{P^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} + A_{1,(1)}^{BG} \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} + \right. \\
& \left. + A_{2,(1)}^{BG} (P^{BG}) \frac{P^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} + A_1^{AK} + A_2^{AK} (W^{AK}) \right) t + \\
& \left( \frac{p_{BG}^* \cdot P_{\max}^{BG}}{P^{CB} + P^{BG}} (t) \eta_{MPPT}^{BG} + \frac{p_{CB}^* \cdot P_{\max}^{CB}}{P^{CB} + P^{BG}} \eta_{MPPT}^{CB} (t) \right) \\
& \left( 1 + \left( \frac{B_{\max} - B_{cp}}{B_{\max}} \right) \right) \eta^{IHB} \eta^{AK} dt = \Pi^{3-AK}.
\end{aligned} \tag{2.27}$$

Підставивши всі коефіцієнти потужностей, отримаємо зпрощений вираз для розрахунку прибутку системи.

$$\begin{aligned}
& (P^{CB} + P^{BG}) \int_0^T \left( p_{BG}^* \cdot k^{BG}(t) \cdot \eta_{MPPT}^{BG} + p_{CB}^* \cdot k^{CB} \cdot \eta_{MPPT}^{CB}(t) \right) B_{EH}(t) \cdot \eta^{IHB} - \\
& - \left( A_{1,(1)}^{CB} k^{CB} + k^{BG} (A_{1,(1)}^{BG} + A_{2,(1)}^{BG}) \right) dt - A_{0,(1)}^{CB} k^{CB} - A_{0,(1)}^{BG} k^{BG} - PB_{(1)} = \Pi^{BE3-AK};
\end{aligned} \tag{2.28}$$

$$\begin{aligned}
& (P^{CB} + P^{BG}) \int_0^T \left( (p_{BG}^*(t) k^{BG} \eta_{MPPT}^{BG} + p_{CB}^* k^{CB} \eta_{MPPT}^{CB}(t)) B_{EH} \left( 1 + \left( \frac{B_{\max} - B_{cp}}{B_{\max}} \right) \right) \cdot \right. \\
& \left. \eta^{IHB} \cdot \eta^{AK} - \left( A_{1,(1)}^{CB} k^{CB} + A_{1,(1)}^{BG} k^{BG} + A_{2,(1)}^{BG} k^{BG} + A_{1,(1)}^{AK} w^{AK} + A_{2,(1)}^{AK} w^{AK} \right) \right) dt - \\
& - A_{0,(1)}^{CB} k^{CB} - A_{0,(1)}^{BG} k^{CB} - A_{0,(1)}^{AK} w^{AK} - PB = \Pi^{3-AK}.
\end{aligned} \tag{2.29}$$

Через залежність умови (2.9) від багатьох факторів, її перевірку доцільно проводити на основі статистичних даних про ціну електроенергії і погодні умови, для певних абсолютних значень потужностей кожного вузла. Для цього необхідно розглянути такі складові: перша, це погодні умови (статистика по погоді), друга – вартість електроенергії, третя – вартість компонентів системи.

Робота самої системи зводиться до того, якщо вигідною є система з акумулятором, то вона накопичує енергію і продає її тільки в пікові

моменти часу, коли прибуток буде найбільшим, а якщо система без акумулятора, то вона все віддає в мережу.

Основна задача - це вибір параметрів системи, якщо ж ця задача вирішена, то далі алгоритм роботи системи є доволі простим, оскільки є вже заздалегідь відомі найдорожчі моменти продажу енергії.

## **Висновки до розділу 2**

1. Розрахунок доцільності використання двох варіантів системи: 1) з акумулятором; 2) без акумулятора; є доволі не простим, оскільки потрібно враховувати нестабільні параметри системи, такі як сила сонячного випромінювання та сила вітру. Але оглянувши статистичні дані в певній місцевості, можна зробити висновки щодо погодніх умов та вартості енергії на ринку електроенергії і на основі цих даних провести розрахунки двох варіантів систем електроживлення та зробити їх порівняння.

2. Якщо результатом розрахунку буде вигідніша система без акумулятора, то буде доречно використовувати одне з двох джерел, бо функція такої системи не має екстремуму, оскільки  $k^{CB}$  та  $k^{BG}$  – це функції першого порядку і при взятті похідної вони зникають, але вони з'являється в системі з акумулятором.

### 3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТТРОЖИВЛЕННЯ

#### 3.1. Розрахунок акумуляторної батареї

Для розрахунку акумуляторної батареї, її номінальну напругу обираємо з умови, що мінімальна напруга має значення:  $380 \cdot \sqrt{2} \approx 550 \text{ В}$ , керуючись середніми параметрами літійових джерел, максимальну напругу акумулятора оберемо наступним співвідношенням:

$$U_{\max}^{AK} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} \cdot U_{\min}^{AK} = \frac{4,2}{2,8} \cdot 550 = 825 \text{ В}, \quad (3.1)$$

де  $U_{\min}$  - мінімальна напруга одного Li-ion акумулятора;  $U_{\max}$  - максимальна напруга одного Li-ion акумулятора;  $U_{\min}^{AK}$  - мінімальна напруга акумуляторної батареї в системі.

Розрахуємо її базові параметри.

номінальна потужність, яку повинен віддавати акумулятор становить  $P = 1 \text{ кВт}$ .

Максимальне та мінімальне значення струму акумуляторної батареї в такому випадку буде розраховуватись наступним чином:

$$I_{\min} = \frac{P}{U_{\max}} = 1.2 \text{ А}; \quad (3.2)$$

$$I_{\max} = \frac{P}{U_{\min}} = 1.8 \text{ А}. \quad (3.3)$$

Обираємо акумулятор Efest 21700 3700 мАгод.

Характеристики:

- тип елементу: Li-ion;
- типорозмір: 21700;
- номінальна ємність: 3700mAh;
- номінальна напруга: 3,7 В;

- напруга повного заряду: 4,2 В;
- напруга повного розряду: 2,5 В;
- максимальна постійна струмовіддача: 35А;
- номінальний опір: 20mOhm;
- рекомендований струм заряду: 2А;
- максимальний струм заряду: 4А;
- температурний режим використання: -20~75<sup>0</sup>С;
- розміри: 21х70мм;
- вага: 73,12гр.

Розрахуємо кількість послідовно з'єднаних акумуляторів, які необхідні для утворення необхідної напруги:

$$n_U = \frac{U_{\max}^{AK}}{U_{\max}} = \frac{825}{4,2} \approx 200 \text{ шт}, \quad (3.4)$$

де  $U_{\max}$  - максимальна напруга одного Li-ion акумулятора;

Для отримання напруги в 825 В необхідно з'єднати приблизно 200 акумулятори послідовно.

Враховуючи максимальне значення струму акумулятора,  $I_{\max \text{ акумулятор}} = 35A$  розрахуємо мінімальну кількість акумуляторів для забезпечення середнього струму, розрахованого за формулою **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

$$n_I = \frac{I}{I_{\text{акум}}} = \frac{2}{35} \approx 1 \text{ шт}. \quad (3.5)$$

Для струму в 2 А необхідно з'єднати 1 блок із 200 акумуляторів, паралельно.

Отже ємність, кількість елементів і маса такого акумулятора визначаються наступними формулами:

$$C_{\text{акум}_{\max}} = 1 \cdot 3700 = 3,7 \text{ А} \cdot \text{год}; \quad (3.6)$$

$$N_{\text{акум}} = 1 \cdot 200 = 200 \text{ шт}; \quad (3.7)$$

$$m_{ном} = 200 \cdot 0,07312 \approx 15 \text{ кг.} \quad (3.8)$$

Відповідно до розрахованого значення  $N_{акум}$ , габарити такої батареї будуть мати такі значення:

$$0,07м \times 0,21м \times 0,42м \text{ (} B \times Ш \times Д \text{)}. \quad (3.9)$$

Також виконаємо розрахунки рекомендованого струму заряджання. В середньому час заряджання візьмемо 8 годин, то струм заряджання визначимо за наступною формулою:

$$I_{зар} \geq \frac{C_{акум}}{T_{ніч}} = \frac{3,7}{8} = 0,5 \text{ А.} \quad (3.10)$$

І як відомо, рекомендований струм заряджання акумулятора визначається наступним співвідношенням:

$$I_{зар}^{рек} \approx 0,8 \cdot C_{акум} \approx 3 \text{ А.} \quad (3.11)$$

Такий режим заряджання буде довше підтримувати акумулятор в належному стані.

### 3.2. Розрахунок ємностей

В загальному випадку формула ємності конденсатора має вигляд:

$$C \gg \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U}. \quad (3.12)$$

Конденсатор С1 призначений для згладжування напруги, яка виходить з сонячної батареї для МРРТ перетворювача, а С4 – на акумуляторі. Оскільки зміна напруги в цих точках змінюється повільно, тому можемо розрахувати їх ємності наступним чином:

$$C_1 \gg \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^3} = 0,16 \text{ мФ}; \quad (3.13)$$

$$C_4 \gg \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^3} = 0,16 \text{ мФ.} \quad (3.14)$$

Для згладження напруги на акумуляторі використаємо

Відповідно ж на виході МРРТ перетворювачів сонячної батареї напруга буде пульсуюча напруга і ємність  $C_2$  можемо розрахувати наступним чином:

$$C_2 \gg \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 3,19 \text{ нФ}. \quad (3.15)$$

Ємність конденсатора  $C_3$  розраховується аналогічно до ємності  $C_2$ , тільки для потужностей вітрогенератора:

$$C_3 \gg \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 3,19 \text{ нФ}. \quad (3.16)$$

### 3.3. Розрахунок індуктивностей

Індуктивність  $L_1$  згладжує пульсації струму на виході МРРТ перетворювача, пульсації струму після його згладження не повинні перевищувати 35%, тоді коефіцієнт пульсацій буде мати значення  $k_{II}=0,35$ . Тому в загальному випадку при використанні такої індуктивності при напрузі 300В вона буде розраховуватись за наступною формулою:

$$L_1 = \frac{U}{I \cdot k_{II} \cdot 2 \cdot f} = \frac{300}{3,5 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 10^3} = 1,2 \text{ мГн}. \quad (3.17)$$

Індуктивність  $L_{14}$  розраховуватиметься подібним чином:

$$L_{14} = \frac{U}{I \cdot k_{II} \cdot 2 \cdot f} = \frac{300}{3,5 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 10^3} = 1,2 \text{ мГн}. \quad (3.18)$$

Для розрахунку інших індуктивностей врахуємо пульсації струму, на виході з інверторів струм повинен мати форму якомога більше наближену до ідеальної синусоїди, то пульсації в такому випадку не повинні перевищувати 10%, тоді з коефіцієнтом пульсацій  $k_{II}=0,1$ . Для розрахунку індуктивності спочатку необхідно розрахувати коефіцієнт згладжування пульсацій:

$$K_{3П} = \frac{K_{П\_ВХ}}{K_{П\_ВИХ}} = \frac{1}{0,1} = 10. \quad (3.19)$$

де,  $K_{П\_ВХ}$  - коефіцієнт пульсацій входу,  $K_{П\_ВИХ}$  - коефіцієнт пульсацій виходу.

Розрахуємо індуктивності  $L2-L4$ ,  $L8-L10$ ,  $L11-L13$  за наступною формулою:

$$L \approx \frac{R}{m \cdot \omega} \sqrt{K_{3П}^2 - 1}. \quad (3.20)$$

Тоді ці індуктивності будуть мати значення:

$$L \approx \frac{U_d}{m \cdot \omega \cdot I_d} \sqrt{K_{3П}^2 - 1} = \frac{380}{1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2.63} \sqrt{10^2 - 1} = 4,5 \text{ Гн}. \quad (3.21)$$

де  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ;  $f$  – частота роботи інвертора 100кГц;  $m$  – номер гармоніки.

Для індуктивностей на виході вітрогенератора  $L5-L7$  використовується схожий принцип розрахунку, але з урахуванням того, що мінімальна частота обертання ротора складатиме  $f=1\text{Гц}$ , напруга при номінальних обертах на виході вітрогенератора складає 48 В і пульсації на виході вітрогенератора є незначними, не більше 20%:

$$K_{3П} = \frac{K_{П\_ВХ}}{K_{П\_ВИХ}} = \frac{0,2}{0,1} = 2; \quad (3.22)$$

$$L \approx \frac{U_d}{m \cdot \omega \cdot I_d} \sqrt{K_{3П}^2 - 1} = \frac{48}{1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 21} \sqrt{2^2 - 1} = 630 \text{ мГн}. \quad (3.23)$$

### 3.4. Розрахунок транзисторів

Обиратимемо транзистори для силової частини МРРТ за наступними критеріями:  $U_{KE}$  і  $I_K$ .

Оскільки вхідна напруга в транзисторі  $VT1$  та  $VT2$  може змінюватися в межах від  $U_{\min} = 0 \text{ В}$  до  $U_{\max} = 1000 \text{ В}$ , а перетворювач розрахований на



$P = 1 \text{ кВт}$ , струм буде мати значення  $I_{\min} = 1 \text{ А}$ , тому мінімальні параметри для транзисторів будуть  $U_{KE} = 1000 \text{ В}$  і  $I_K = 1 \text{ А}$ .

Група транзисторів  $VT9-VT14$ , які входять до складу активного випрямляча, напруга на виході якого має вище значення, ніж на вході, повинні розраховуватись з міркувань можливості витримати вихідну напругу, нехай вона становитиме  $U_{KE} = 600 \text{ В}$

Групи транзисторів, які входять до складу трифазних інверторів  $VT3-VT8$ ,  $VT15-VT20$  та  $VT21-VT26$  мають витримувати вхідну напругу, розміром з амплітудне значення напруги виходу МРРТ перетворювача, яка становить більше  $U_{KE} = 600 \text{ В}$ .

І при потужності  $P = 1 \text{ кВт}$  мінімальний струм транзисторів розрахуємо наступним чином:

$$I_K = \frac{P}{U_{KE}} = \frac{1000}{600} = 2 \text{ А.} \quad (3.24)$$

### 3.5. Принцип розрахунку співвідношення потужностей джерел енергії

За умови визначених значень нормованих амортизаційних нарахувань на використання сонячної батареї  $A_{0,(1)CB}$ ,  $A_{1,(1)CB}$ , вітрогенератора  $A_{0,(1)BG}$ ,  $A_{1,(1)BG}$ ,  $A_{2,(1)BG}$  та акумулятора  $A_{0,(1)AK}$ ,  $A_{1,(1)AK}$ ,  $A_{2,(1)AK}$ ; кривої вартості електроенергії  $B_{EH}$ , як функції часу  $B_{EH} = f(t)$ ; нормованих початкових витрат  $ПВ_{(1)}$ ; коефіцієнтів корисної дії складових системи  $\eta_{INV}$ ,  $\eta_{MPPTCB}$ ,  $\eta_{MPPTBG}$ ,  $\eta_{AK}$ , та поточних погодних умов (потужність сонячного випромінювання та сила вітру), з рівняння (19) можливо визначити співвідношення потужностей сонячної батареї  $k_{CB}$  і вітрогенератора  $k_{BG}$ , при яких буде досягатись максимальний прибуток у системі без акумулятора  $П_{(1)БЕЗ\_AK}$ , а з рівняння (20) – співвідношення  $k_{CB}$ ,  $k_{BG}$  і  $w_{AK}$  – енергоємності

аккумуляторної батареї, для забезпечення максимального прибутку від використання системи з аккумулятором  $\Pi_{3\_AK}$ .

Максимум прибутку від системи досягається при певному співвідношенні  $k_{CB}$  і  $k_{BG}$ , що шукається з рівняння (19) з умови:

$$\left. \frac{d\Pi_{(1)}^{BE3\_AK}}{dk^{BG}} \right|_{k^{CB}=1-k^{BG}} = 0. \quad (3.25)$$

Змінивши порядок виконання операцій у формулі (19) та спочатку виконавши операцію диференціювання за змінною  $k_{CB}$ , у підінтегральному виразі буде усунуто параметр  $k_{BG}$ , що свідчить про відсутність екстремуму. Виходячи з цього можна зробити висновок, що у системі без акумулювання енергії доцільно використовувати один тип джерела енергії, що приносить найбільший прибуток. Якщо

$$\left. \frac{d\Pi_{(1)}^{BE3\_AK}}{dk^{BG}} \right|_{k^{CB}=1-k^{BG}} < 0, \quad (3.26)$$

то у системі доцільно використовувати сонячні батареї, якщо ж значення похідної більше нуля – вітрогенератори.

Використання двох або більше різнотипних джерел електроенергії стає доцільним за таких умов [12, 13]:

- 1) використання системи акумулювання енергії;
- 2) обидва джерела мають нестабільну вихідну потужність;
- 3) часова залежність вихідної потужності джерел суттєво відрізняється, тобто їх коефіцієнт кореляції  $r$  не перевищує 0.5,  $r \leq 0.5$ ;
- 4) існує велика кількість інтервалів між максимумами ціни на електроенергію де потужність кожного джерела суттєво нижче максимальної.

Графічна ілюстрація роботи системи з одним джерелом енергії і двох джерел енергії, що відповідають переліченим умовам, показана на рис. 3.1 і 3.2 відповідно.

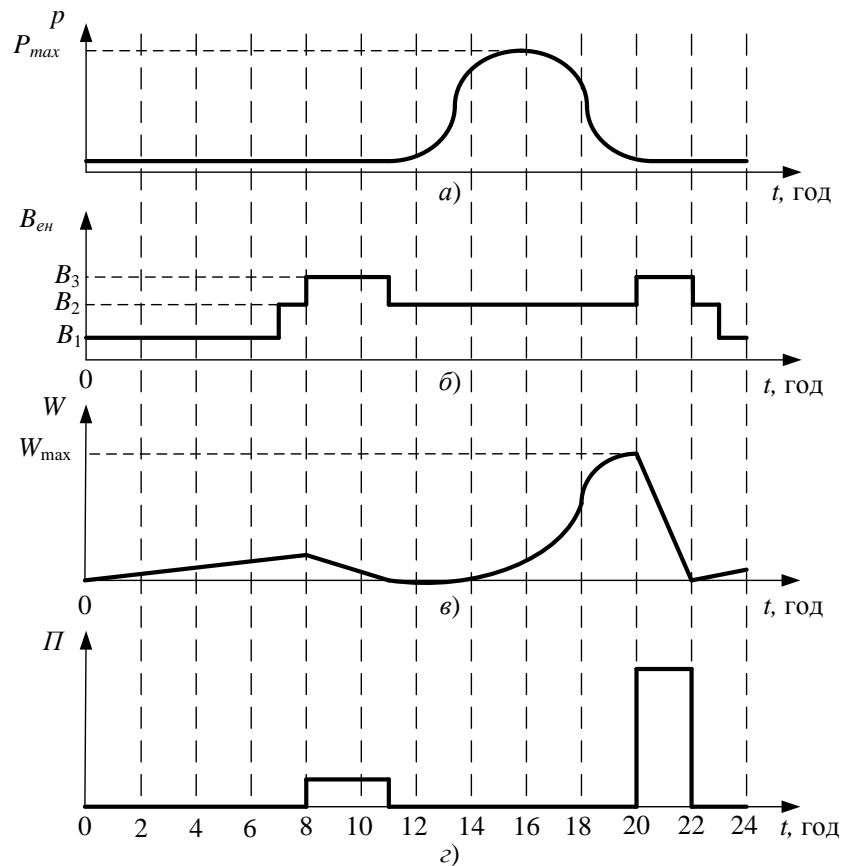


Рис. 3.1. Ілюстрація роботи системи електроживлення з одним джерелом енергії

На рис. 3.1 зображено а) миттєве значення потужності джерела; б) крива вартості електроенергії за тризонним тарифом; в) обсяг енергії, накопичений в акумуляторі; г) прибуток від системи електроживлення і гідно цього рисунку, принцип роботи системи електроживлення з системою акумулювання енергії полягає у накопиченні енергії коли вартість електроенергії нижче максимальної  $B_1$  і  $B_2$  і продаж всієї енергії при піковому значенні вартості  $B_3$ , рис 3 б). Через нестабільну вихідну потужність відновлювального джерела  $p$ , зображену на рис. 3 а), система акумулювання працює неефективно, оскільки в період 0..8 годин, ємність акумулятора майже не використовується, бо вихідна потужність джерела на цьому часовому інтервалі мінімальна.

Якщо ж у системі електроживлення використовуються два або більше джерела енергії, вихідна потужність яких корелюються слабо, як показано

на рис. 3.2 а) і б), навантаження на систему акумулювання стає рівномірнішим, що дозволяє зменшити енергоемність акумулятора і собівартість системи електроживлення в цілому.

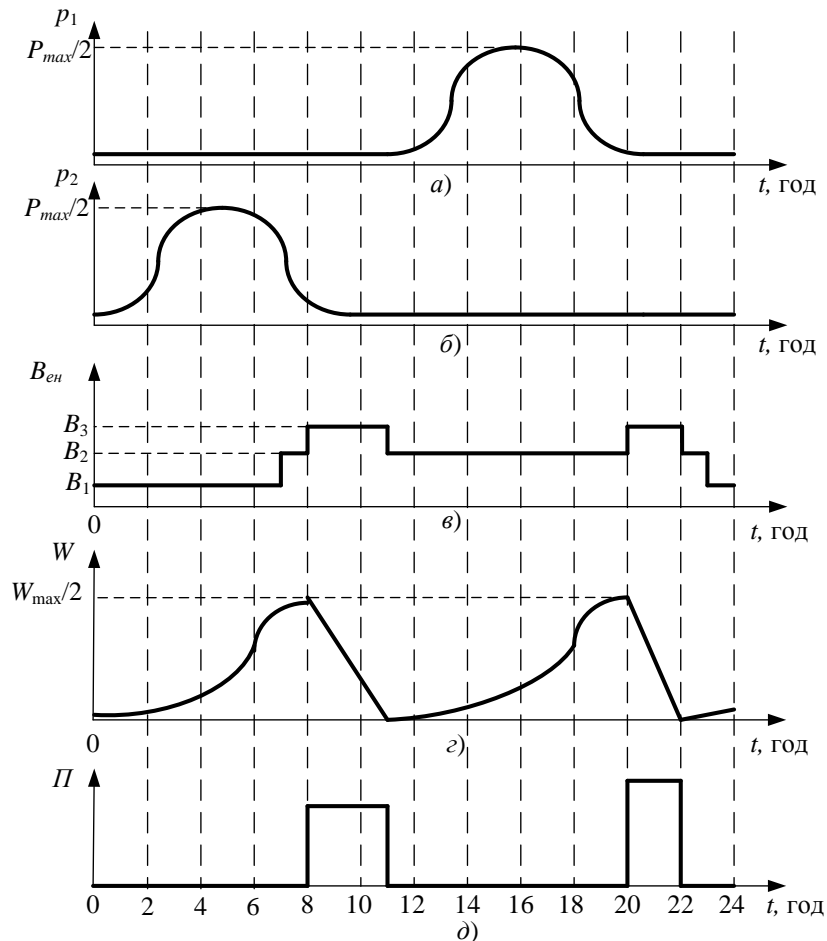


Рис. 3.2. Ілюстрація роботи системи електроживлення з двома джерелами енергії.

На рис. 3.2 зображено а) миттєве значення потужності першого джерела; б) миттєве значення потужності другого джерела; в) крива вартості електроенергії за тризонним тарифом; г) обсяг енергії, накопичений в акумуляторі; д) прибуток від системи електроживлення

Знаходження максимального прибутку для системи з акумулюванням енергії передбачає корекцію кривої потужності системи, що здійснюється за допомогою заряджання-розряджання акумулятора та її подальшої оптимізації згідно з формулою:

$$\left. \frac{d\Pi_{(1)}^{3-AK}}{dk^{BF}} \right|_{k^{CB}=1-k^{BF}} + \frac{d\Pi_{(1)}^{3-AK}}{dw^{AK}} = 0. \quad (3.27)$$

Оскільки статистичні дані про потужність сонячної електроенергії та швидкості вітру для певного регіону задаються у виді масиву числових даних, як правило, параметри системи з максимальним прибутком шукаються чисельними методами, найчастіше – методом градієнтного спуску [14, 15]. При цьому для балансування енергосистеми доцільно, щоб прибуток системи з акумулюванням енергії перевищував прибуток системи без нього, що можливе за умови збільшення різниці максимальної і мінімальної ціни електроенергії протягом дня.

### **Висновок до розділу 3**

1. Всі компоненти системи розраховуються з урахування деякого запасу потужності.
2. Принцип розрахунку співвідношення потужностей джерел енергії є доволі складним, оскільки потрібно враховувати багато факторів, які впливають на систему
3. Об'єднання декількох малокорельованих джерел енергії є перспективним, оскільки одне з них може генерувати потужність в моменти, коли інше не може це зробити.

## **4. МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТЕЙ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ**

### **4.1. Обробка масиву даних**

В першу чергу для початку моделювання необхідно зібрати данні про швидкість вітру та інтенсивність сонячного випромінювання в трьох найпоширеніший кліматичних поясах світу. Це помірний, субтропічний та тропічний, відповідно оберемо міста, які знаходяться в цих поясах: Київ – помірний, Стамбул – субтропічний та ШармЕльШейх – тропічний. Далі для зручності подальшої обробки масивів, необхідно зібрані дані за цілий рік в форматі csv конвертувати до формату, який зручно буде обробляти в MATLAB [5].

Для конвертування даних використаємо скрипт, наведений в додатку 3.

Конвертація заключається в тому, що початкові дані наводяться у вигляді масивів багатьох даних, які включають в себе інформацію про часові інтервали даних, день, місяць, рік, інтенсивність сонячного випромінювання та швидкість вітру в одному рядку і ці всі дані необхідно структурувати та відокремити по окремим масивам.

Спочатку необхідно перевірити співвідношення використання системи без акумулятора, для цього використаємо дані про швидкість вітру та інтенсивність сонячного випромінювання із щойно конвертованого масиву даних та занесу їх до скрипту, який наведено в додатку 3, використовуючи формулу (2.29). Корируючи значення вартості електроенергії, знаходимо мінімальну вартість електроенергії, за якої система себе окупить і навіть може принести незначний прибуток. На додаток до цього скрипт знаходить коефіцієнт кореляції потужностей

сонячної батареї та вітрогенератора, завдяки чому можна робити подальші висновки щодо використання тих чи інших потужностей.

Розраховані дані занесемо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати моделювання системи без акумулятора

Місто	Джерело	Вартість електроенергії	Коефіцієнт взаємної кореляції
Київ	Сонце	7.95	0.163
Стамбул	Сонце	8.58	0.021
ШармЕльШейх	Сонце	7,48	0.079

З табл. 4.1 видно, що для отримання прибутку без використання акумулятора, в наших регіонах доцільно використовувати енергію сонця і система почне приносити прибуток тільки при вартості електроенергії більше 8 грн.

Для перевірки вартості окупності системи з акумулятором використаємо скрипт, який наведено в додатку 4. Алгоритм такого розрахунку є дещо складнішим. Результати моделювання занесено до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Результати моделювання системи з акумулятором

Місто	Джерело	Вартість електроенергії	Коефіцієнт взаємної кореляції
Київ	Вітер	2.17	0.163
Стамбул	Вітер	2.17	0.021
ШармЕльШейх	Вітер	2.07	0.079

Також важливим є використання умови, за якої чим меншим є коефіцієнт кореляції, тим більш вигідною є система з акумулятором.

З результатів моделювання можна зробити висновок, що при використанні системи з акумулюванням доцільніше буде використовувати вітрову енергію і вартість електроенергії для окупності такої системи є приблизно в 3.5 рази меншою. Це пояснюється тим, що співвідношення між найбільшим та коефіцієнтом тризонного тарифу повинно бути не більше, ніж  $\frac{1,5}{0,4} = 3,75$ , де 0.4 – це вартість електроенергії в нічний період часу, а 1.5 – в години пік. Відповідно якщо взяти відношення вартості електроенергії для Києва, то отримаємо коефіцієнт  $\frac{7,95}{2,17} = 3,66$ .

Для кожного з промодельованих регіонів є переважним використання вітрової енергії в системі з акумулятором пов'язане з більшою стабільністю генерації енергії вітрогенераторами і накопиченні її в нічний час доби, чого не можна сказати про сонячні панелі.

Далі візьмемо масив отриманих точок для Києва при вартості електроенергії 7.95 та побудуємо графік прибутку, який залежить від співвідношень джерел енергії системи без акумулятора і зображено на рис. 4.1.



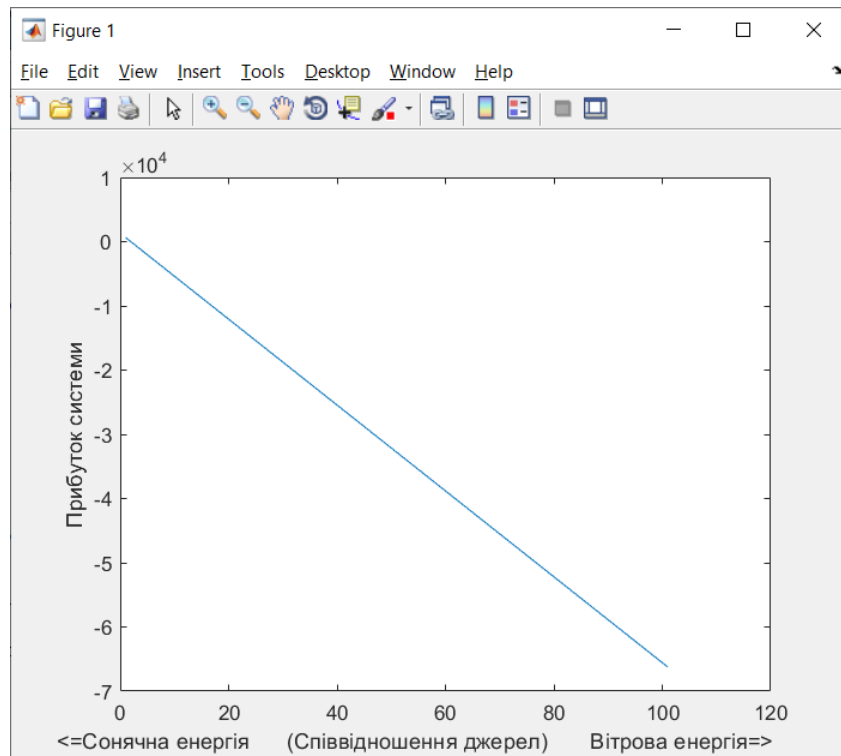


Рис. 4.1. Графік окупності системи без акумулятора, залежно від співвідношення джерел енергії

На графіку, що зображений на рис. 4.1, можна побачити, що найшвидше окупити систему можна при використанні тільки сонячних джерел енергії.

Відповідно до рис. 4.1, побудуємо тримірний графік прибутковості системи з акумулятором, в залежності від співвідношення джерел енергії та ємності акумулятора.

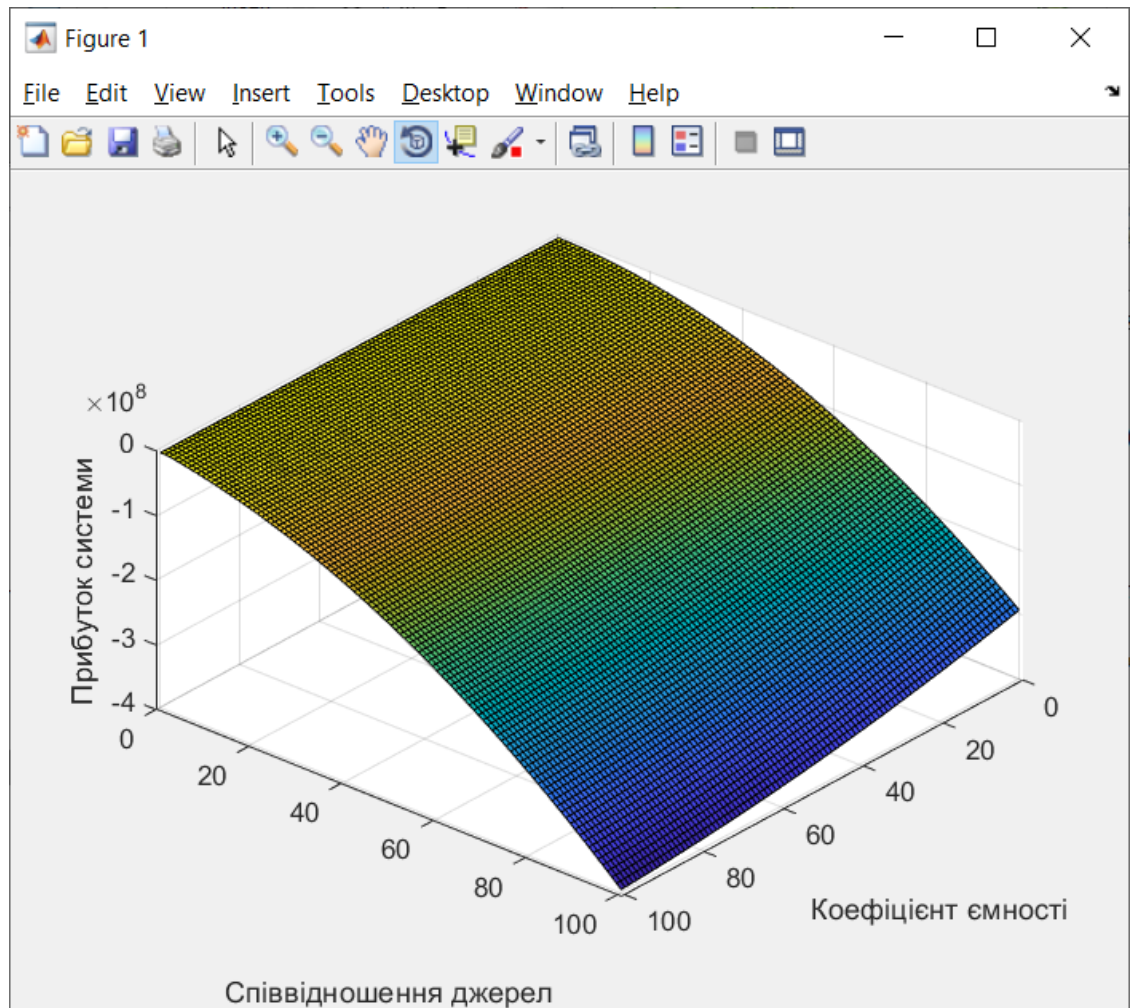


Рис. 4.2. Графік окупності системи з акумулятором, в залежності від співвідношення джерел енергії та ємності акумулятора

## 4.2. Моделювання функціональних вузлів

Промодельюємо окремі функціональні вузли системи електроживлення в середовищі MATLAB (Simulink) і на основі окремих моделей із сонячної батареї, вітрогенератора та акумулятора отримаємо відповідні осцилограми струмів та напруг моделей.

В схемній моделі, яка показана на рис. 4.3, використовується модель сонячної батареї, ключова модель транзистора, діода та акумуляторної. Система керування для такої схеми реалізовувалася за допомогою підсистеми з S-функцією, в якій є можливість використовувати одну з наступних мов програмування: MATLAB, C, C++.

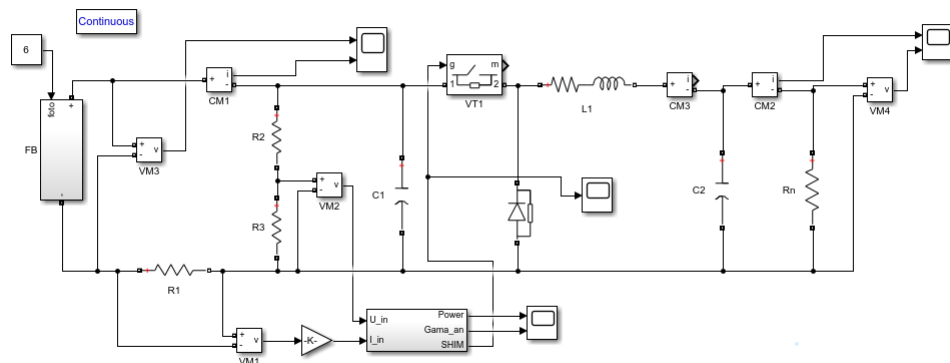


Рис. 4.3. Модель понижуючого перетворювача із сонячною батареєю

Така підсистема використовується у випадках, коли потрібно реалізувати складну логіку, яку складно, або неможливо реалізувати звичайними блоками в бібліотеках Simulink. Принцип роботи схеми оснований на протіканні струму від сонячної батареї до навантаження через регульований елемент – силовий ключ, що керується ШІМ сигналом, за рахунок чого ми отримаємо пониженому напругу на навантаженні.

На рис 4.4 та 4.5 показано осцилограми, як змінюється напруга та струм на виході сонячної батареї та на навантаженні.

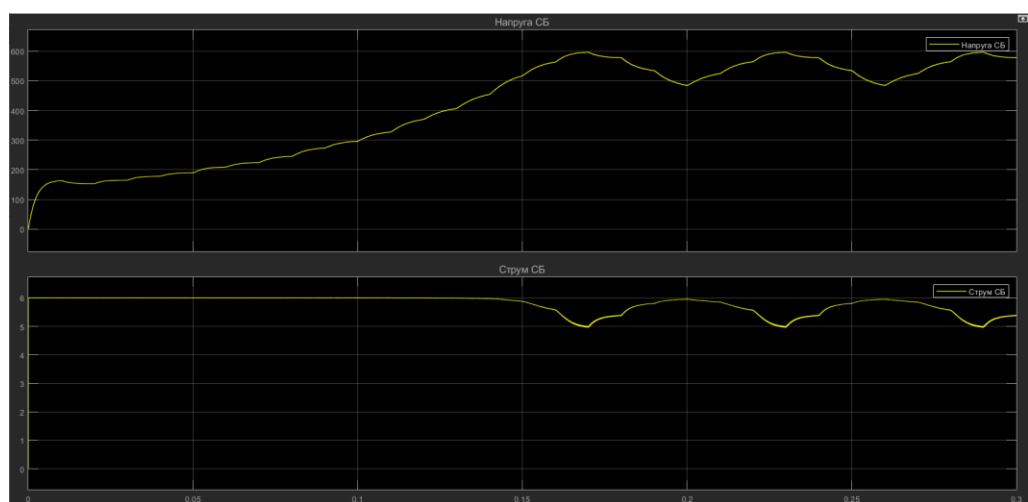


Рис. 4.4 Струм та напруга сонячної батареї

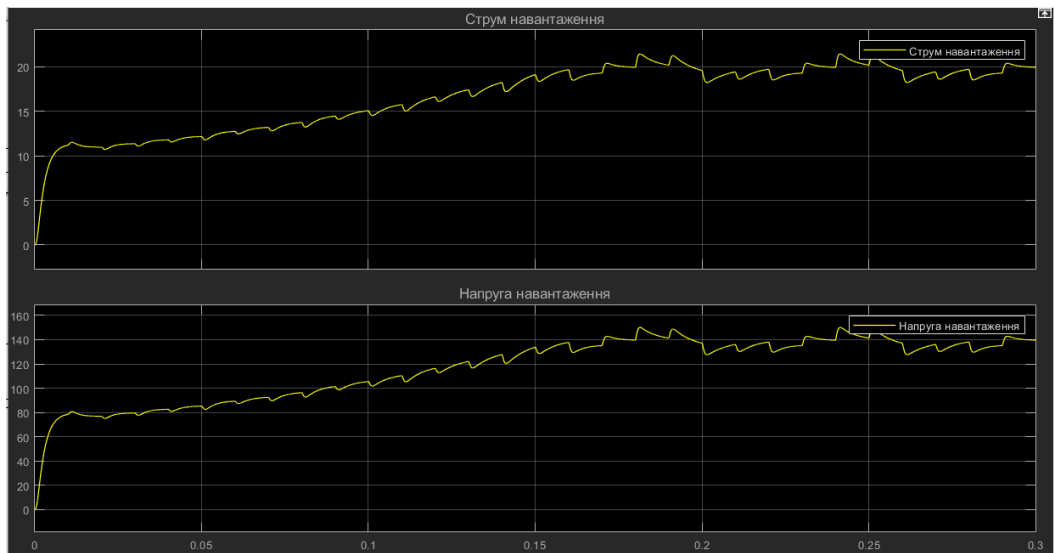


Рис. 4.5. Струм та напруга навантаження

Наступним кроком зробимо моделювання передавання потужності від вітрогенератора, який представлений у вигляді трьох ідеальних джерел змінної напруги. В цій моделі шість силових транзисторів виконують роль активного випрямляча.

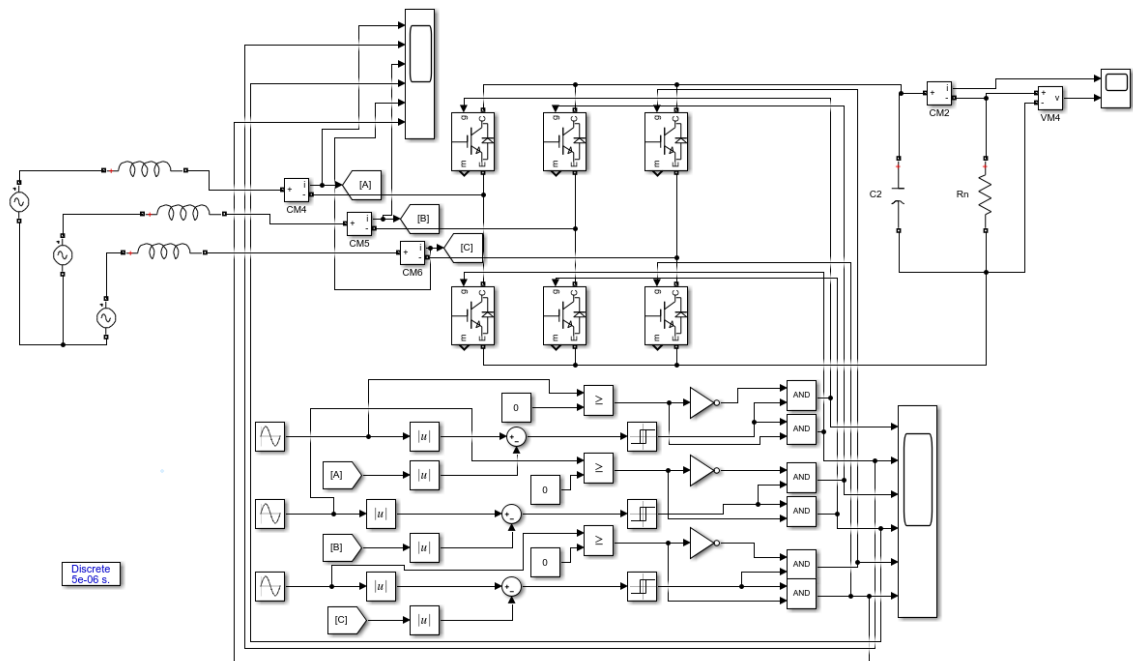


Рис. 4.6. Модель з вітрогенератором

Робота цієї схеми основана на перетворенні змінної напруги, що генерує вітрогенератор у підвищену, постійну, оскільки активний випрямляч працює як підвищуючий перетворювач.

Результатом моделювання є осцилограми напруги та струму навантаження, які показано на рис. 4.7, з яких видно, що ці параметри збільшуються до максимального значення.

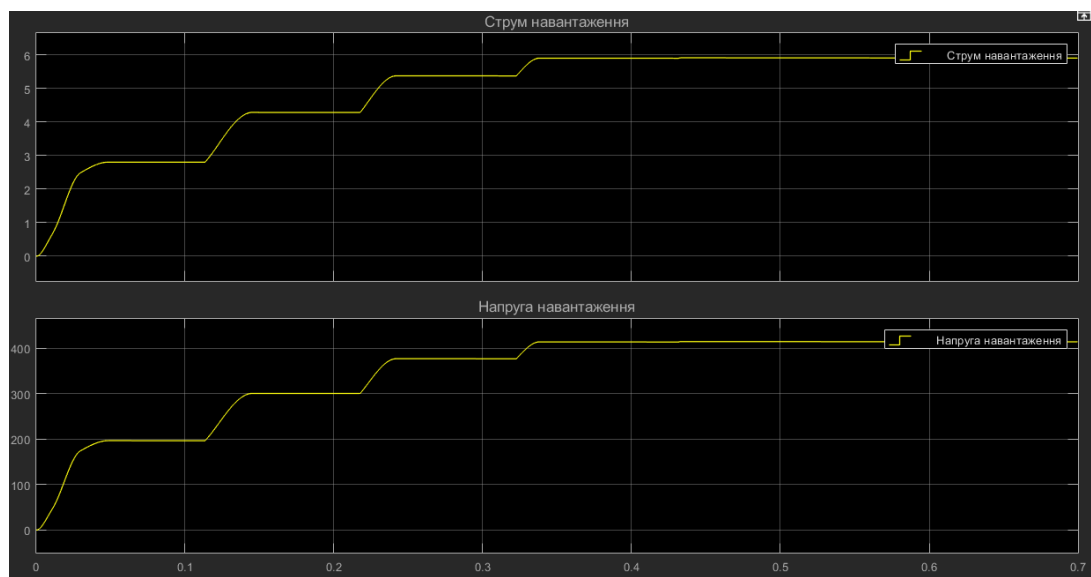


Рис. 4.7. Осцилограми струму та напруги навантаження

Наступною буде модель заряджання акумуляторної батареї від трьохфазної мережі, вона зображена на рис. 4.8, де ідеальною трьохфазною мережею виступають три джерела напруги, зі зсувом по фазі 120 градусів одна відносно одної.

Ця схема працює подібно до схеми на рис. 4.6, і завдяки тому, що мінімальна напруга акумулятора вища за просто випрямлену напругу трьохфазної мережі, то використання активного дозволить підвищувати напругу до потрібного рівня для заряджання акумулятора.

На рис. 4.9 зображена осцилограма напруги, струму та рівня заряду акумулятора. На ній ми можемо бачити зростання напруги на акумуляторі, що тягне за собою його заряджання.

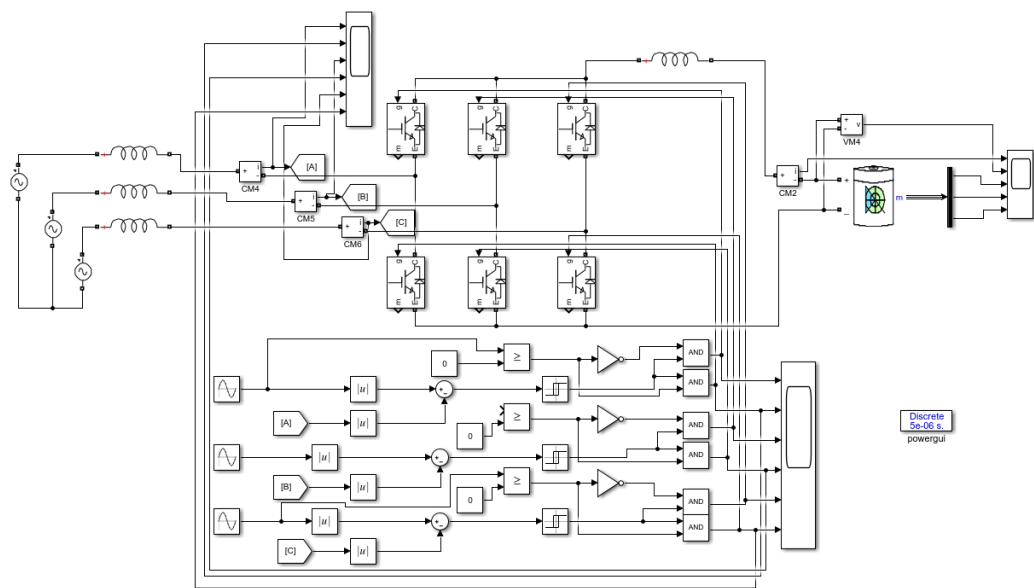


Рис. 4.8. Модель заряджання акумулятора

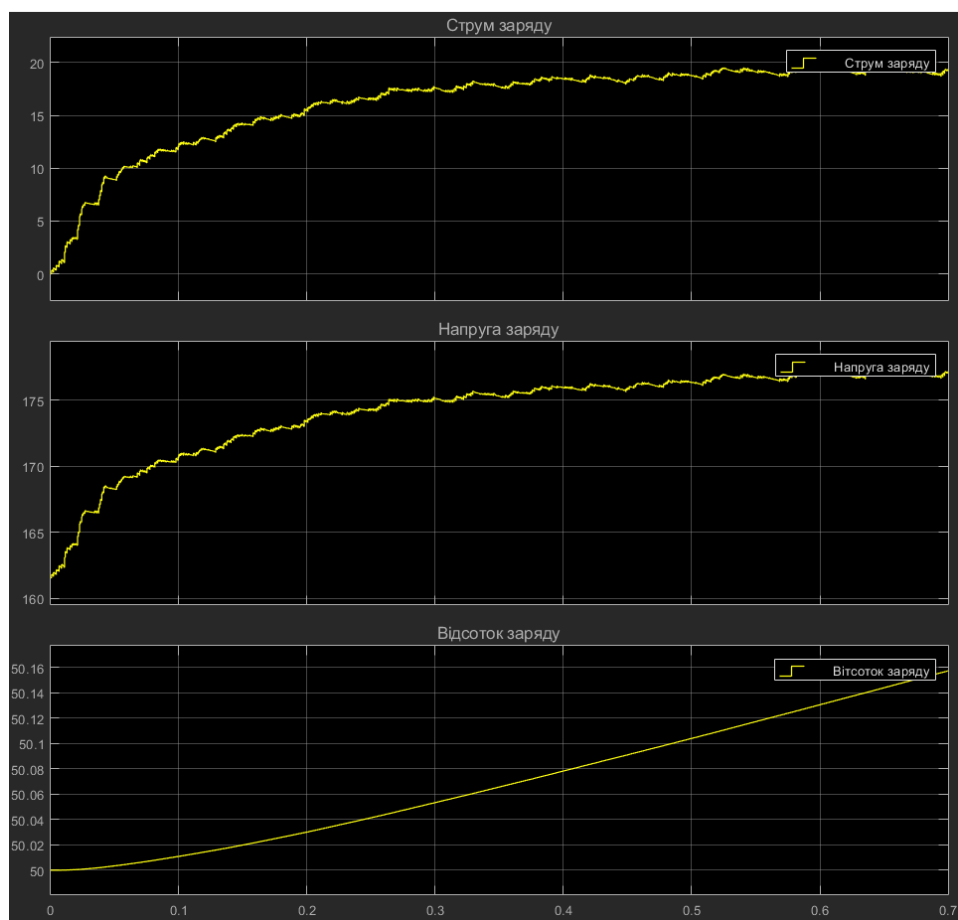


Рис. 4.9. Осцилограма струму, напруги та рівня заряду акумулятора

## **Висновки до розділу 4**

1. Специфіка отримання прибутку зі зміною кліматичних поясів мало чим відрізняється, оскільки для системи без акумулювання доцільніше використовувати тільки сонячні батареї, а в системі з акумулятором – вітрогенератори.

2. Система складається з доволі простих елементів, тому моделювання функціональних вузлів показує простоту конструкції. Запасання та віддачу енергії в певні моменти часу можна завдяки керуванню тільки одним функціональним вузлом схеми

## 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

### 5.1. Опис ідеї проекту

Опис ідеї стартап-проекту наведено в табл. 5.1, визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту в табл.5.2.

Таблиця 5.1

Опис ідеї стартап - проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї: розробка системи електроживлення з відновлювальними	1. Ринок електроенергії;	Максимізація прибутку від продажу енергії
	2. Приватні домогосподарства	Забезпечення автономності роботи певного об'єкту



джерелами енергії		
-------------------	--	--

Щоб удосконалити оцінку бізнес-ідеї, необхідно проаналізувати потенційні техніко-хімічні переваги в порівнянні з пропозиціями конкурентів.

В табл. 5.2 представлено техніко-економічні характеристики ідеї та виконано порівняння з трьома конкурентами.

Таблиця 5.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3
1	Можливість запасання енергії	+	+	+	+
2	Об'єднане використання декількох джерел енергії	+	+	-	-
3	Використання статистичних даних про погодні умови	-	-	+	-
4	Аналіз прибутковості продажу згенерованої енергії	-	-	-	-

## 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічна здійсненність ідеї проекту наведено в табл.5.3.

Таблиця 5.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Отримання прибутку	Брати участь на ринку електроенергії	Наявна	Доступна
2	Аналіз прибутковості та керування системою	Розробка схемо-технічних рішень, дослідження	Наявна	Доступна

## 5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Попередню характеристика потенційного ринку стартап проекту наведено в табл. 5.4, а характеристика потенційних клієнтів в табл.5.5.

Таблиця 5.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
Кількість головних гравців, од	9
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	-
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Потребує великих інвестицій
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	>100

Таблиця 5.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
Максимізація отримання енергії з альтернативних джерел енергії	1) Компанії, що займаються реалізацією систем електроживлення з використанням відновлюваних джерел енергії  2) Приватні підприємці	Використання малих потужностей (до 10 кВт) та промислових	Застосування обладнання на бажаній території, максимізація прибутку, можливість автономного використання енергії.

Фактори загроз, їх зміст та можлива реакція компанії наведено в табл.5.6

Таблиця 5.6

## Фактори загроз

<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
Конкуренція	Можливість появи нових гравців на ринку, ідея яких буде кращою за ту ж вартість	Модифікація алгоритмів системи

В табл. 5.7 наведено фактори можливостей, їх зміст та можливу реакцію компанії.

Таблиця 5.7

## Фактори можливостей

<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
Підвищена прибутковість	Продаж електроенергії, коли її вартість є найбільшою та її запасання за малої вартості	Розширення клієнтської бази
Балансування енергосистеми	Енергія є найдорожчою, коли вона найбільш потрібна, а це години пік (зранку та ввечері)  Продаж енергії в цей час зменшить навантаження на енергосистему	Популяризація продукту серед населення

В табл. 5.8 наведено результати ступеневого аналізу конкуренції на ринку.

Таблиця 5.8

## Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції: чиста	Велика кількість продавців та споживачів	Майже не відчується
2. За рівнем конкурентної боротьби: локальна	В індивідуальному підході до кожної локації	Розширення територій покриття обладнання

Продовження таблиці 5.8

3. За галузевою ознакою : міжгалузева	Різні галузі застосування	Розширення функціоналу та галузей застосування
4. Конкуренція за видами товарів: між бажаннями	Залежить від побажань замовника	Розширення функціональних можливостей
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Чим більше вкладаєш, тим більше отримаєш прибутку.	Збільшення доходів
6. За інтенсивністю: марочна	Висока інтенсивність розвитку даної сфери	Проведення заходів по розвитку бренду

Завершальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриця аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)) (табл. 5.9).

Таблиця 5.9

Сильні сторони	Підвищена мобільність, зменшення навантаження на мережу
Слабкі сторони	Вартість системи електроживлення, вартість акумуляторної батареї
Можливості	Переваги при перевезенні
Загрози	Досить висока вартість

### 5.3. Розробка маркетингової програми стартап-проекту

В першу чергу, що собою представляє розробка ринкової стратегії, а саме це визначення стратегії охоплення ринку. Передусім необхідно здійснити вибір стратегії конкурентної поведінки та виконати опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.10).

Таблиця 5.10

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів ?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так	Так	Ні	Помірна

Першою стоїть задача сформулювати маркетингову концепцію товару, який буде отримувати споживач. Це можна зробити, підсумувавши результати, попереднього аналізу конкурентноспроможності товару (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Балансування енергосистеми	Реалізація даної системи зменшить навантаження на енергосистему на піковий інтервалах	Енергоефективність.
2	Отримання прибутку	Продаж електроенергії за найбільшою вартістю та її накопичення за найменшої вартості	Прибутковість

Важливим кроком є визначення цільових меж, якими потрібно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар. Визначення цінових меж описано у табл. 5.12.

Таблиця 5.12

Рівень цін на товари - замітники	Рівень цін на товари - аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Тотожні	Немає	20-100 тис. грн зі 100 од	5000/10000 грн

Останнім кроком є визначення оптимальної системи збуту (табл. 5.13).

Таблиця 5.13

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Врахування потреб споживачів	Задоволення потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Залучена
2		Рекламування товару та задоволення потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Залучена

В ході розробки стартап проекту було визначено зміст ідеї, напрямки застосування та вигоду для користувача. Також відзначено сильні та слабкі сторони проекту. Виконано оцінку можливостей та загроз, які можуть перешкоджати для входу на ринок. Проведено аналіз потенційних клієнтів та наліз конкуренції стартап-проекту на ринку.

## Висновки до розділу 5

1. В результаті проведеного маркетингового аналізу перспектив реалізації запропонованих науково-технічних рішень та пропозицій,

оцінювання можливостей їх ринкового впровадження можна стверджувати, що розроблений перетворювач має можливість ринкової комерціалізації та може бути рентабельним проектом на ринку. Зростання попиту на елементи такої системи додає масовості придбання подібних товарів і не створює жорстких конкурентних умов виходу на ринок.

2. Проект має високі перспективи впровадження з огляду на сучасний стан ринку, що потребує більш ефективних рішень. Перешкодами входження на ринок може бути сильний конкурентний тиск з боку великих фірм, які займаються розробкою подібних перетворювачів та алгоритмів синтезу, а також потреба у великій кількості кваліфікованих кадрів та дорогої апаратури. При правильно розставлених пріоритетах проект зарекомендує себе на ринку, він має всі шанси на прибуток. Подальша імплементація проекту є доцільною та рентабельною.

## ВИСНОВКИ

На основі генерації електроенергії альтернативними джерелами енергії та продажу її до об'єднаної енергосистеми України було визначено негативний вплив таких дій, що призводить до розбалансування енергосистеми. І визначено, що для балансування енергії в системі необхідно стимулювати виробників з відновлювальними джерелами встановлювати акумулятори, для чого потрібно вводити багатозонний тариф з достатньо великою різницею між мінімальною та макс вартістю енергії. У цьому випадку виробники електроенергії з відновлювальних джерел будуть зацікавлені у модернізації систем електроживлення та встановлення систем акумулювання з метою продажу електроенергії на інтервалах пікових навантажень, коли її вартість найбільша та акумулювання на інтервалах, коли вона буде найдешевшою.

Аналіз систем без акумулювання і з акумулюванням енергії показав, що систему без акумулювання енергії доцільно проектувати на основі відновлювального джерела з найменшою собівартістю. В районі Києва система без акумулятора може окупитися при вартості електроенергії приблизно 8 грн, а з використанням акумулятора це можливе вже при вартості менше ніж 3 грн. Таке співвідношення вартості енергії слабо залежить від кліматичних поясів і результати моделювання показали, що коефіцієнт відношення вартості окупності системи з акумулятором та без для різних кліматичних поясів є майже однаковим, він показує, що використання системи в Києві без акумулятора вигідніше у 3.66 рази, тому система з акумулятором окупить себе набагато швидше.

При дослідженні статистичних даних виявилось, що в системі без акумулятора доцільно використовувати тільки сонячні панелі, а в системі з акумулятором – вітрогенератори. Це пояснюється тим, що вітрогенератори мають більш стабільну генеровану потужність і вона може накопичуватись



в акумуляторах навіть в нічні проміжки часу, що є недоліком саме сонячної батареї.

Отримані результати досліджень даної роботи використовуються при проведенні лекційних та практичних занять з дисципліни «Мережі постійного і змінного струму з альтернативними джерелами енергії», Лекція «Особливості функціонування ринку електроенергії України» при підготовці фахівців за спеціальністю 171 «Електроніка» в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

## ЛІТЕРАТУРА

1. Monaaf D. A. Al-falahi S.D.G. Jayasinghe, H. Enshaei A review on recent size optimization methodologies for standalone solar and wind hybrid renewable energy system. *Energy Conversion and Management*, Vol. 143, 2017, P. 252-274. doi: 10.1016/j.enconman.2017.04.019.
2. Abba LawanBukar Chee WeiTana. A review on stand-alone photovoltaic-wind energy system with fuel cell: System optimization and energy management strategy. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 221, 2019, Pp. 73-88. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.228.
3. Weiping Zhang, Akbar Maleki, Marc A. Rosen, Jingqing Liu. Sizing a stand-alone solar-wind-hydrogen energy system using weather forecasting and a hybrid search optimization algorithm. *Energy Conversion and Management*. Vol. 180, 2019, P. 609-621. doi: 10.1016/j.enconman.2018.08.102.
4. A.M.Hemeida, M.H.El-Ahmar, A.M.El-Sayed, Hany M. Hasanien, Salem Alkhalaf, M.F.C.Esmail, T.Senju. Optimum design of hybrid wind/PV energy system for remote area. *Ain Shams Engineering Journal*. Vol. 11, Issue 1, 2020, P. 11-23. doi: 10.1016/j.asej.2019.08.005.
5. NSRDB Data Viewer. URL: <https://maps.nrel.gov/nsrdb-viewer/> (дата звернення: 15.11.2020).
6. Krajačić, G., Duić, N., Zmijarević, Z., Mathiesen, B. V., Vučinić, A. A., & da Graça Carvalho, M. Planning for a 100% independent energy system based on smart energy storage for integration of renewables and CO2 emissions reduction. *Applied Thermal Engineering*, 2011 31(13), P. 2073–2083. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.03.014.
7. Context-aware framework for energy management system. A. G. Kyselova; I. V. Verbitskyi; G. D. Kyselov. *2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, Kyiv, 2016, P. 1-4. doi: 10.1109/IEPS.2016.7521890.

8. Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., & Yang, H. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems. *Applied Energy*, 2010, 87(2), P. 380–389. doi: 10.1016/j.apenergy.2009.08.012.
9. Khan, F. A., Pal, N., & Saeed, S. H. (2018). Review of solar photovoltaic and wind hybrid energy systems for sizing strategies optimization techniques and cost analysis methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, P. 937–947. doi:10.1016/j.rser.2018.04.107.
10. Вітрогенератори для дому та дачі по всій Україні. URL: <https://avante.com.ua/ua/catalog/1.elektrotexnika/vetrogeneratory> (дата звернення: 13.11.2020).
11. VoltmarketUA Автомобільні акумулятори : веб сайт. URL: <https://voltmarket.ua/avtomobilnye-akkumulyatory> (дата звернення: 14.11.2020).
12. Вербицький, Є. В. Контекстний підхід керування системою електроживлення / Є. В. Вербицький, А. Г. Кисельова // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2016. – № 18 (1190). – С. 123-127. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.18.
13. Ievgen Verbytskyi; Anna Kyselova; Gennadiy Kyselov. Power grid converter control improvement based on contextual data. *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2017, P. 599-604. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100311.
14. Yiheng Wei, Yu Kang, Weidi Yin, Yong Wang. Design of generalized fractional order gradient descent method. Department of Automation, University of Science and Technology of China, preprint. URL: <https://arxiv.org/abs/1901.05294>.
15. Balamurali, A., Feng, G., Lai, C., Tjong, J., & Kar, N. C. Maximum Efficiency Control of PMSM Drives Considering System Losses using Gradient

Descent Algorithm Based on DC Power Measurement. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2018, 1–1. doi:10.1109/tec.2018.2852219.

16. Oleg Kucher, Taras Hutsol, Kateryna Zavalniuk, Yurii Pantsyr, Ihor Harasymchuk, Krzysztof Mudryk, Marcin Jewiarz. Marketing strategies and prognoses of development of the renewable energy market in ukraine. 2017, Vol. II, No. 1, pp. 100-121. ISBN 978-83-65180-19-3

17. State Statistics Service of Ukraine. Official Website. 2019. Available online: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

18. Fadly, D. Low-carbon transition: Private sector investment in renewable energy projects in developing countries. *World Dev.* 2019, 122, 552–569.

19. Hamdy, M.S.; Ahmed, A.Z.D.; Kuznetsov, O.N.; Zubkova, I.S. Design and evaluation of PV-wind hybrid system with hydroelectric pumped storage on the National Power System of Egypt. *Glob. Energy Interconnect.* 2018, 1, 301–311.

20. Нова модель ринку електроенергії: як це вплине на конкуренцію? : веб сайт. URL: <https://yur-gazeta.com/publications/practice/antimonopolne-konkurentne-pravo/nova-model-rinku-elektroenergiyi-yak-ce-vplyne-na-konkurenciyu.html> (дата звернення: 10.08.2020).

21. H. Kondziella, T. Bruckner Flexibility requirements of renewable energy based electricity systems - a review of research results and methodologies *Renew Sustain Energy Rev*, 53 (2016), pp. 10-22

22. Argyrou, M.C.; Christodoulides, P.; Kalogirou, S.A. Energy storage for electricity generation and related processes: Technologies appraisal and grid scale applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 94, 804–821.

23. Желібо Є.П., Сагайдак І.С. Використання нетрадиційних джерел енергії в Україні: стан, проблеми та перспективи розвитку // Збірник матеріалів Міжнародної науковопрактичної конференції «Екологічні

виклики і сталий розвиток: економічні, правові та екологічні аспекти». – К.: «Форматт». – 2016. – С. 83 – 87.

24. Зубрицька В., Нова модель ринку електроенергії [Електронний ресурс]. - «Юридична газета» - №4, 2020 – Режим доступу: <https://yur-gazeta.com/publications/practice/antimonopolne-konkurentne-pravo/nova-model-rinku-elektroenergiyi-yak-ce-vpline-na-konkurenciyu.html>

25. Використання сонячних батарей [Електронний ресурс]. - Joule, 2018. – Режим доступу: <https://joule.net.ua/ua/articles/scho-take-sonyachna-batareya>

26. Принцип роботи вітрогенератора [Електронний ресурс]. - VENCON, 2016. – Режим доступу: <https://vencon.ua/ua/articles/printsip-raboty-vetrogeneratora>

27. МРРТ-контролер для заряду сонячних батарей [Електронний ресурс]: - ЕлектроВести, 2019. - Режим доступу: [https://elektrovesti.net/energetika/345\\_mppt-kontroller-dlya-zaryada-solnechnykh-batarey](https://elektrovesti.net/energetika/345_mppt-kontroller-dlya-zaryada-solnechnykh-batarey)

28. Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай Перетворювальна техніка в нетрадиційній та відновлювальній електроенергетиці [Електронний ресурс]. - навч. посіб. - Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай Харків, 2019. – Режим доступу: [http://eprints.kname.edu.ua/53211/1/2018\\_ПЕЧ\\_14Н%20ПТ.pdf](http://eprints.kname.edu.ua/53211/1/2018_ПЕЧ_14Н%20ПТ.pdf)

29. Фінансова присутність домогосподарств на ринку електроенергії [Електронний ресурс]. - International Electronic Scientific Journal “Science Online”, 2019. - Режим доступу: <https://nauka-online.com/wp-content/uploads/2019/12/Brachun.pdf>

30. Ліснічук Ю., Войтко С. Дослідження ефективності виробництва та експлуатації кремнієвих сонячних батарей у короткостроковій та середньостроковій перспективі / Ю. С. Ліснічук, С. В. Войтко. // Ефективна економіка. – 2014. - №4. – С. 1-3.

31. Використання альтернативних джерел енергії в умовах розвитку сільських територій : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. (Полтава, 22 лист. 2019). Полтава : РВВ ПДАА, 2019. 110 с.

32. Бабенко О. Богородіченко Р. Контролери заряду для сонячних станцій / О.В. Бабенко Р.О. Богородіченко // Вінницький національний технічний університет. – 2020. - №2. – С. 1-2.

33. Дослідження ефективності застосування вітроенергетичних установок низької потужності в системах електропостачання міст: у 30 Т., Ч. 2, № 4, 2019. / Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки; за ред. Михайленко О.Ю. Карабут Н.О. Мельник О.Є. Кузьменко А.С. Коломіц Г.В.

34. Зейда Я.Б зелений тариф - використання сонячної енергії і фотоелектричних елементів / Я.Б. Зейда // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції ННІ механотроніки і систем менеджменту, 2019. – С. 15

35. Гордієвський, В. Дослідження ефективності застосування фотовольтаїчних систем для потреб енергозабезпечення будинків. – 2017. – Електронний ресурс:  
[r.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/10774/272.pdf?sequence=3](http://r.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/10774/272.pdf?sequence=3)

36. Кириленко О.В. Особливості забезпечення елект-ромагнітної сумісності в електричних мережах України [Текст] /О.В.Кириленко, С.П.Денисюк, О.Б.Рибіна //Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: 36. наук. праць. –К.: ІЕД НАНУ, 2007. –No1(16), Частина1. –С.27–30.

37. Жаркин А.Ф. Системы электроснабжения с источ-никами распределенной генерации: [науч. изд.] /А.Ф.Жаркин, С.П.Денисюк, В.А.Попов; НАН Украины, Ин-т электродинамики. –К.: Наукова думка, – 2017. –232с.

38. Denysiuk S. Analysis of exchange processes during parallel operation of wind electric units /S.Denysiuk, D.Horenko //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. –2016. –4/8 (82). C.26–32.

## **ABSTRACT**

Thanks to the Law of Ukraine "On the Electricity Market" adopted in 2019, the state lost its monopoly on electricity sales and access to this market was gained by independent suppliers who can sell electricity in three markets: the market of bilateral agreements, the day-ahead market and intraday market.

This initiative promotes free pricing of electricity costs and in the long run should simultaneously reduce the cost of electricity and ensure the stability of Ukraine's energy system. One of the promising areas of energy sources that can be sold on the market is renewable energy, as its use will bring positive changes to the environment and the cost of electricity produced from these sources is rapidly declining and in the near future should be lower than electricity from traditional sources.

In the new market model, there is a division into companies that produce, transport and consume electricity. According to analysts, this meets European standards and creates conditions for competition.

The introduction of new competition in the electricity market should improve the flow of funds from the consumer to the producer, which means that the producer will be able to plan and increase its next cash flows on the basis of long-term contracts to be concluded without intermediaries. As electricity consumption is constantly growing, large investments will be needed in this area of the economy.

The use of alternative energy sources is growing every year. The most popular and effective is the use of solar energy. Solar energy that reaches the Earth's surface has enormous power that is completely impossible to collect and use. The amount of solar radiation during the week in terms of capacity exceeds all currently known reserves of oil, uranium and coal combined.

At the moment, electricity from renewable energy sources is sold at a fixed "green tariff", which is valid until 01.01.2030. At the same time, the owners of power supply systems with renewable electricity have unstable energy generation,



which unbalances the unified energy system of Ukraine. Therefore, the main feature of renewable energy sources is their unstable output power, which depends on external conditions. Over time, the green tariff will first decrease and then be abolished and renewable energy will be sold on a general basis. In contrast to the green tariff, free pricing will help balance the energy system, because at intervals of energy deficit it will have a higher cost. Therefore, energy suppliers from renewable sources will be interested in installing storage capacity in order to accumulate electricity at intervals when it is cheap, and sell at a high cost. However, the installation of storage capacity is appropriate only if the ratio between the cost of electricity during peak hours and at intervals with excess energy exceeds a certain value.

There are three mechanisms for selling electricity - bilateral agreements, the day-ahead electricity market and the intraday market. Bilateral agreements are usually concluded between large suppliers and consumers of electricity for large amounts of electricity, so participation in it at low installed capacity (up to 10 kW) is inappropriate. Participation in day-ahead and intraday markets is more promising [1]. The main task of such markets is to cover the electricity deficit in the morning (6-9 hours) and evening (18-22 hours) peak hours, during which the price of electricity is the highest.

When working in such markets, you can follow two strategies:

- Use storage-free power systems and sell the generated energy to the grid immediately.
- Use a storage system and sell electricity during peak hours at maximum cost.

Using both power supply forecasting strategies, the power supply system can improve the balance between planned and actually generated energy, which allows to increase profits and avoid imbalance penalties.

Since the capacity of the power supply system with renewable energy sources depends on external conditions, it is advisable to use available

information from weather forecasting services on the Internet to predict them. Together with the model of the power supply system such information allows:

2) Estimate the cost of electricity for a given structure of the power supply system and its payback period for a given area.

3) Choose the structure and management strategy of the power system to get the most profit.

It is more efficient to conclude deals on the market the day before.

The structure of a typical power supply system is shown in Fig. 1.

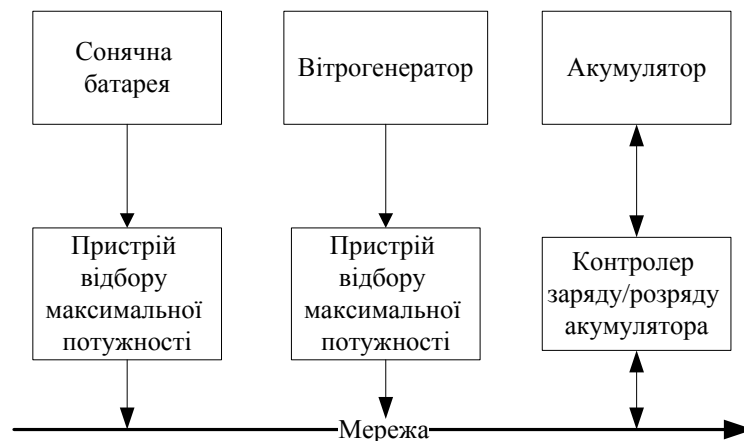


Fig. 1. Block diagram of the power supply system

At the design stage of the system, information about the bidding in the electricity market and meteorological conditions in a particular area allows you to choose the ratio between the power of the solar panel, wind turbine and battery power, which will get the most profit for the area.

To calculate the profit you need to analyze:

4) the cost of renewable energy sources and the battery, taking into account the nonlinear relationship between price and power of the source;

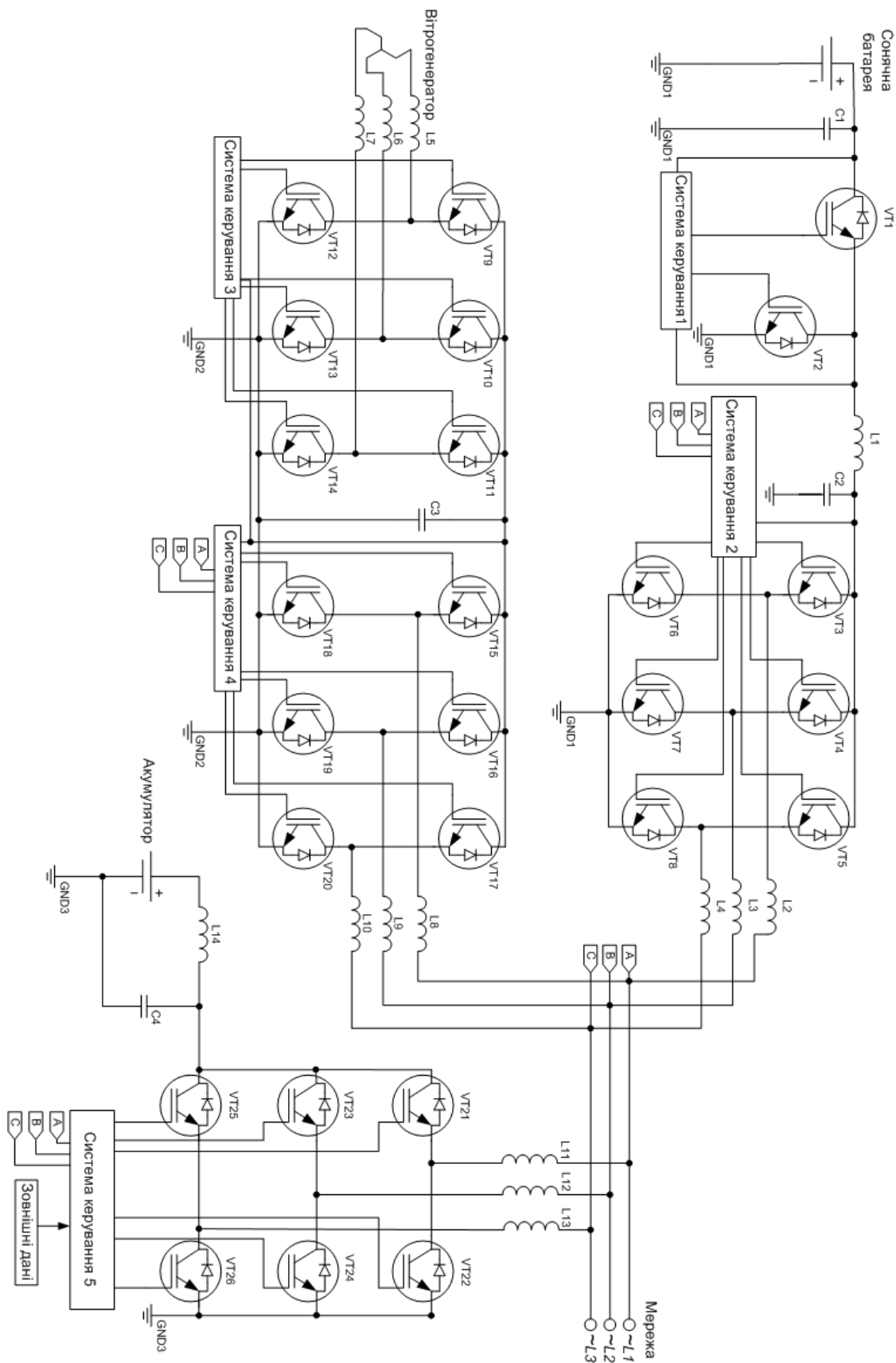
rational ratio between the installed capacity of the battery, solar panel and wind turbine;

statistics on the cost of electricity in the market.

The considered data allow to find dependence between external weather conditions and the prime cost of the electric power generated in system. To do this, the concept of external weather conditions and depreciation is introduced.

The algorithm of search of the greatest profit on which the condition of use of system of accumulation of energy is defined is offered. On the one hand, if we are guided by the statement that at maximum voltage there will be the greatest current, it seems logical, but in reality it is not. This is primarily due to the volt-ampere characteristics of the elements of the solar battery. And the denominations of system elements are calculated. Then the system operation is simulated in the MATLAB environment (Simulink)

Схема принципова силова



## Лістинг програми з розрахунку прибутку системи без акумулятора

```

Ben = 8.25; %Вартість електроенергії

p=1.225; % щільність повітря

power_wind=(wind_array.^3)*p/2;
maxp=max(power_wind);
power_wind1=power_wind/maxp;
maxp=max(solar_array);
solar_array1=solar_array/maxp;

corr=corrcoef(power_wind,solar_array);

BS=700*28; %вартість сонячної батареї
BV=1000*28; %вартість вітрогенератора
Binv=400*28; %вартість інвертора
Bbat=300*28; %вартість акумулятора

nV = 0.9;
nS = 0.9;
ninv = 0.97;
AS0 = 0.2*BS;
AS1 = 0.8*BS;
AV0 = 0.2*BV;
AV1 = 0.3*BV;
AV2 = 0.5*BV/(365*24);
B = BS+BV+2*Binv; %початкова вартість ПБ
count=length(power_wind);
dt=0.25;
count_day=24/dt;
koef=0;
prop=0:0.01:1;
gain=zeros(1,101);
for prop=1:101
    prop;
    kV = (prop-1)/100;
    kS = 1 - kV;
    P=0;
    for k1 = 1 : count
        time=(k1-floor(k1/count_day)*count_day)*dt;
        if (time <= 7) || (time > 23)
            koef=0.4;
        end
        if ((time > 7)&&(time <= 8)) || ((time > 11)&&(time <= 20)) || ((time > 22)&&(time <= 23))
            koef=1;
        end
        if ((time > 8)&&(time <= 11)) || ((time > 20)&&(time <= 22))
            koef=1.5;
        end
        P=P+((power_wind1(k1)*kV*nV+solar_array1(k1)*kS*nS)*Ben*koef*ninv-AV2*power_wind1(k1))*dt;
    end
    gain(prop)=P*7-AS0*kS-AV0*kV-B-AS1*kS-kV*AV1;
end
plot(gain)
xlabel('<=Сонячна енергія (Співвідношення джерел) Вітрова енергія=>')
ylabel('Прибуток системи')

```

```
% data={};  
k=length(data);  
wind_array=zeros(1,k);  
solar_array=zeros(1,k);  
for k1=1:k  
    my_string=string(data{k1});  
    vector=strsplit(my_string, ';');  
    solar_cell=vector{6};  
    solar=str2num(solar_cell);  
    wind_cell=vector{7};  
    wind=str2num(wind_cell);  
    wind_array(k1)=wind;  
    solar_array(k1)=solar;  
end
```

## Лістинг програми розрахунку прибутку системи з акумулятором

```

Ben = 7.95;

p=1.225; % щільність повітря

power_wind=(wind_array.^3)*p/2;
maxp=max(power_wind);
power_wind1=power_wind/maxp;
maxp=max(solar_array);
solar_array1=solar_array/maxp;

corr=corrcoef(power_wind,solar_array);

BS=700*28; %вартість сонячної батареї
BV=1000*28; %вартість вітрогенератора
Binv=400*28; %вартість інвертора
Bbat=2000*28; %вартість акумулятора

Teks=7;
nV = 0.9;
nS = 0.9;
ninv = 0.97;
AS0 = 0.2*BS;
AS1 = 0.8*BS;
AV0 = 0.2*BV;
AV1 = 0.3*BV;
AV2 = 0.5*BV/(365*24*Teks);

count=length(power_wind);
dt=0.25;
count_day=24/dt;
koef1=1.5;
gain1=zeros(101,101);
for prop1=0:100
    prop1
    capacity=prop1;
    AB0 = 0.2*Bbat*capacity;
    AB1 = 0.3*Bbat*capacity;
    AB2 = 0.5*Bbat*capacity/(365*24*Teks);

    B = BS+BV+2*Binv+(Bbat+Binv)*capacity; %початкова вартість ПВ
    power_bat=0;
    for prop=1:101
        kV = (prop-1)/100;
        kS = 1 - kV;
        P=0;
        energy=power_wind1*kV*nV+solar_array1*kS*nS;
        for k1 = 1 : count/count_day
            current_energy=0;
            for k2=1:28
                if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt<capacity)
                    current_energy=current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt;

```

```

        energy((k1-1)*count_day+k2)=0;
    end
    if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt>capacity)&&(current_energy<capacity)
        energy((k1-1)*count_day+k2)=energy((k1-
1)*count_day+k2)-(capacity-current_energy)/dt;
        current_energy=capacity;
        break;
    end
end
if current_energy <capacity
    for k2=93:96
        if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt<capacity)
            current_energy=current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt;
            energy((k1-1)*count_day+k2)=0;
        end
        if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt>capacity)&&(current_energy<capacity)
            energy((k1-1)*count_day+k2)=energy((k1-
1)*count_day+k2)-(capacity-current_energy)/dt;
            current_energy=capacity;
            break;
        end
    end
end
if current_energy <capacity
    for k2=29:32
        if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt<capacity)
            current_energy=current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt;
            energy((k1-1)*count_day+k2)=0;
        end
        if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt>capacity)&&(current_energy<capacity)
            energy((k1-1)*count_day+k2)=energy((k1-
1)*count_day+k2)-(capacity-current_energy)/dt;
            current_energy=capacity;
            break;
        end
    end
end
if current_energy <capacity
    for k2=45:80
        if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt<capacity)
            current_energy=current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt;
            energy((k1-1)*count_day+k2)=0;
        end
        if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt>capacity)&&(current_energy<capacity)
            energy((k1-1)*count_day+k2)=energy((k1-
1)*count_day+k2)-(capacity-current_energy)/dt;
            current_energy=capacity;

```



```

                break;
            end
        end
    end
    if current_energy < capacity
        for k2=89:92
            if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt<capacity)
                current_energy=current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt;
                energy((k1-1)*count_day+k2)=0;
            end
            if (current_energy+energy((k1-
1)*count_day+k2)*dt>capacity)&&(current_energy<capacity)
                energy((k1-1)*count_day+k2)=energy((k1-
1)*count_day+k2)-(capacity-current_energy)/dt;
                current_energy=capacity;
                break;
            end
        end
    end
    power_bat=power_bat+current_energy;
end
for k1 = 1 : count
    time=(k1-floor(k1/count_day)*count_day)*dt;
    if (time <= 7) || (time > 23)
        koef=0.4;
    end
    if ((time > 7)&&(time <= 8)) || ((time > 11)&&(time <=
20)) || ((time > 22)&&(time <= 23))
        koef=1;
    end
    if ((time > 8)&&(time <= 11)) || ((time > 20)&&(time <=
22))
        koef=1.5;
    end

    P=P+(energy(k1)*Ben*koef*ninv-AV2*power_wind1(k1)-
AB2*power_bat/(5*365))*dt;
end
    gain1(prop1+1,prop)=(P+power_bat*ninv*ninv*Ben*koef1)*Teks-
AS0*kS-AV0*kV-AB0*capacity-B-AS1*kS-kV*AV1-AB1*capacity;
end
end
surf(gain1)
xlabel('Коефіцієнт ємності')
ylabel('Співвідношення джерел')
zlabel('Прибуток системи')

```

## Лістинг аналітичного розрахунку прибутку за трифазним тарифом

```

Ben1=C1;
Ben2=C1+(C2-C1)(t-6);
Ben3=C2;
Ben4=C2+(C3-C2)(t-9);
Ben5=C3;
Ben6=C3+(C2-C3)(t-17);
Ben7=C2;
Ben8=C2+(C1-C2)(t-21);
Ben9=C3;

pS1=pS3=0;
pS2=(pmS*Sin[Pi (t-7)/12])+(2kmS*pmS*(Cos[Pi (t-7)/12-kchS*t]+Cos[Pi (t-
7)/12+kchS*t])/2);
Expand[%]
Simplify[%]

pV=pmV(1-kmV(1-Sin[kchV*t]));
kS=1-kV;
P1=(pV*kV*nV+pS1*kS*nS)*Ben1*ninv-(AS1*kS+kV(AV1+AV2));
P2=(pV*kV*nV+pS1*kS*nS)*Ben2*ninv-(AS1*kS+kV(AV1+AV2));
P3=(pV*kV*nV+pS2*kS*nS)*Ben3*ninv-(AS1*kS+kV(AV1+AV2));
P4=(pV*kV*nV+pS2*kS*nS)*Ben4*ninv-(AS1*kS+kV(AV1+AV2));
P5=(pV*kV*nV+pS2*kS*nS)*Ben5*ninv-(AS1*kS+kV(AV1+AV2));
P6=(pV*kV*nV+pS2*kS*nS)*Ben6*ninv-(AS1*kS+kV(AV1+AV2))
p66=Expand[P6]

P7=(pV*kV*nV+pS3*kS*nS)*Ben7*ninv-(AS1*kS+kV(AV1+AV2));
P8=(pV*kV*nV+pS3*kS*nS)*Ben8*ninv-(AS1*kS+kV(AV1+AV2));
P9=(pV*kV*nV+pS3*kS*nS)*Ben9*ninv-(AS1*kS+kV(AV1+AV2));
Pint1=Integrate[P1,{t,0,6}];
Pint2=Integrate[P2,{t,6,7}];
Pint3=Integrate[P3,{t,7,9}];
Pint4=Integrate[P4,{t,9,10}];
Pint5=Integrate[P5,{t,10,17}];
ppint6=Integrate[p66,{t,17,18}];
Pint6=Integrate[P6,{t,17,18}];
Pint7=Integrate[P7,{t,18,21}];
Pint8=Integrate[P8,{t,21,23}];
Pint9=Integrate[P9,{t,23,24}];
Pintfull=Pint1+Pint2+Pint3+Pint4+Pint5+Pint6+Pint7+Pint8+Pint9-AS0*kS-
AV0*kV-CB;

Pintdif=D[Pintfull,kV];

```